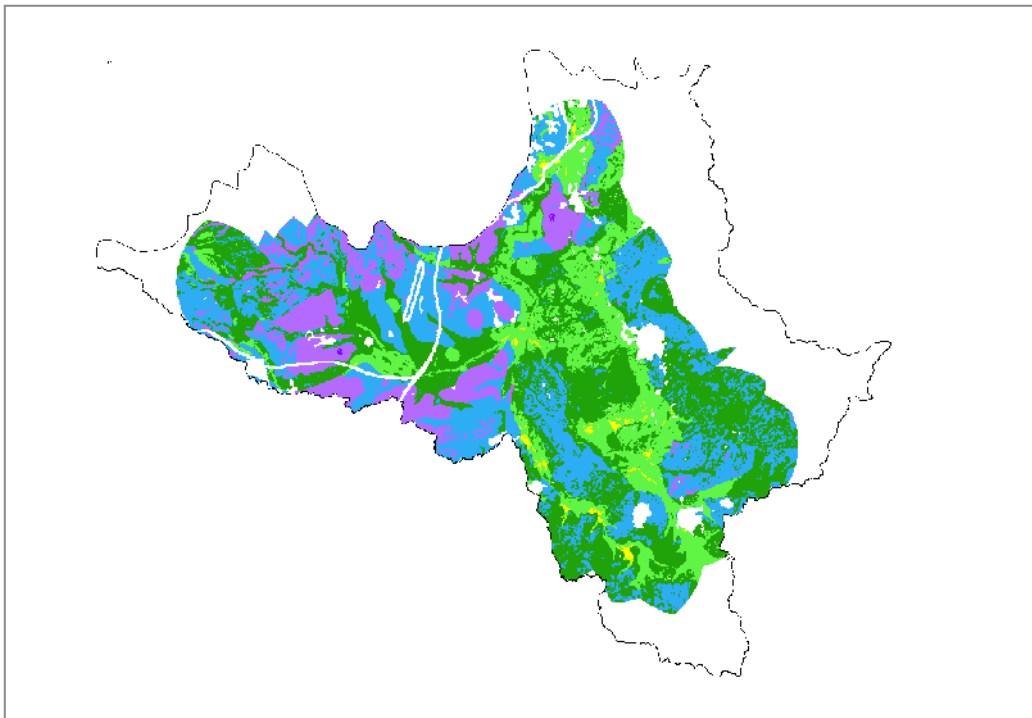


Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la contaminació de les aigües subterrànies: la conca de l'Onyar (Gironès)



Memòria del projecte final de carrera, juny 2011
Llicenciatura en Ciències Ambientals
Universitat Autònoma de Barcelona

Agraïments

M'agradaria expressar la meva gratitud al Dr. Albert Folch de la unitat de Geodinàmica Externa del Departament de Geologia, per les hores dedicades al projecte i els consells i visions aportades. A la seva interminable paciència i per transmetre'm la passió per aquest món i brindar-me la possibilitat de fer aquest treball.

També m'agradaria agrair a la Dra. Anna Menció i al David López de la universitat de Girona per les dades cedides, i en especial agraïment al David per mostrar-me amb senzillesa i simpatia la metodologia a seguir durant el treball de camp.

Al Dr. Joan Bach, coordinador del Departament d'Hidrogeologia de la Universitat Autònoma de Barcelona per deixar-me material de camp i laboratori.

Al Dr. Xavier Ponts i la Alaitz Zabala per ajudar-me a resoldre els problemes sorgits durant el maneig de dades amb Miramon.

Als meus amis, en especial al Carles i els seus companys de pis, per acollir-me a casa seva durant el període de treball de camp i fer-me sentir com a casa.

A l'Àlvar, la meva parella, que desinteressadament s'ha fet partícip d'aquest projecte, recolzant-me i donant-me consells en tot moment.

A la meva família pel seu suport i confiança rebuda en tot moment.

ÍNDEX

1. ANTECEDENTS.....	6
2. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	9
3. CARACTERÍSTIQUES DE LA ZONA D'ESTUDI	13
4. MATERIALS I MÈTODES	15
4.1 VULNERABILITAT DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES.....	15
4.1.1 <i>Marc Teòric</i>	15
4.1.2 <i>Contaminació per nitrats</i>	17
4.2 CARTOGRAFIA DE VULNERABILITAT	21
4.2.1 <i>Escala de treball</i>	22
4.2.2 <i>Informació disponible</i>	23
4.2.1 <i>SIG MiraMon</i>	23
4.3 MÈTODE DRASTIC.....	25
4.3.1 FACTORS HIDROGEOLÒGICS	28
4.3.2 CARACTERÍSTIQUES DE LES ZONES AMB MÉS VULNERABILITAT INTRÍNSECA	31
4.4 TREBALL DE CAMP	33
5. RESULTATS	34
5.1 MAPA DE PROFUNDITATS FINS EL NIVELL FREÀTIC	34
5.2 MAPA DE RECÀRREGA	37
5.3 MAPA DE MATERIALS DE L'AQUÍFER	40
5.4 MAPA DE TEXTURES DEL SÒL	42
5.5 MAPA DE PENDENTS	44
5.6 MAPA DE LA LITOLOGIA DE LA ZONA NO SATURADA.....	46
5.7 MAPA DE PERMEABILITATS DE LA ZONA SATURADA	48
5.8 MAPA DE VULNERABILITAT	50
5.9 VALIDACIÓ DEL MAPA DE VULNERABILITAT	53
6. CONCLUSIONS	61
7. PROPOSTES DE MILLORA	63

8. CAMPS DE RECERCA EN EL FUTUR.....	64
9. BIBLIOGRAFIA	65
10. ACRÒNIMS I PARAULES CLAU	69
11.PRESSUPOST.....	70
12. CALENDARI.....	71
13. ANNEX I.....	72

ÍNDEX DE FIGURES

Fig. 1: Ortofotomapa amb els límits de la conca de l'Onyar	14
Fig. 2: Mapa de les zones vulnerables per contaminació de nitrats.....	19
Fig. 3: Relacions entre l'escala de representació i la natura dels objectius.....	22
Fig. 4: Representació gràfica de la metodologia.....	27
Fig. 5: Emmagatzematge d'aigua subterrània en porus i fractures.....	28
Fig. 6: Horitzons d'un perfil del sòl.....	30
Fig. 7: Mapa de profunditat fins el nivell freàtic.....	36
Fig. 8: Mapa recàrrega neta.....	39
Fig. 9: Mapa de materials de l'aqüífer.....	41
Fig. 10: Classificació de les textures del sòl.....	42
Fig. 11: Mapa de textures.....	43
Fig. 12: Mapa de pendents.....	45
Fig. 13: Mapa de materials de la zona no saturada.....	47
Fig. 14: Mapa de permeabilitats.....	49
Fig. 15: Mapa de vulnerabilitat.....	51
Fig. 16: Freqüència i percentatge acumulat de la concentració de Nitrats.....	53
Fig. 17: Mapa de concentracions de nitrats.....	56
Fig. 18: Relació entre concentració. Vulnerabilitat i ús de sòl.....	57
Fig. 19: Mapa d'usos del sòl (simplificat).....	60

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Descripció de les inicials	25
Taula 2: Pesos de cada factor	26
Taula 3: Rangs de profunditat	34
Taula 4: Rangs de la recàrrega	37
Taula 5: Rangs dels diferents materials que conformen l'aqüífer	40
Taula 6: Rangs de les diferents textures de sòl	42
Taula 7: Rangs de pendent	44
Taula 8: Rangs de la litologia de la zona no saturada	46
Taula 9: Rangs permeabilitat de la zona saturada	48
Taula 10: Rangs de vulnerabilitat	50
Taula 11: Freqüències i percentatges	50
Taula 12: Pressupost per RRHH amb IVA% inclòs.	70
Taula 13: Pressupost per les sortides de camp amb IVA% inclòs.	70
Taula 14: Pressupost per analítiques amb IVA% inclòs.	70
Taula 15: Pressupost pel material fungible amb IVA% inclòs.	70
Taula 16: Pressupost total amb IVA% inclòs.	70
Taula 17: Calendari	71

1. Antecedents

Existeixen estudis realitzats per diferents entitats i publicats durant els darrers anys que tenen com a zona d'estudi tota l'àrea de la Selva. La majoria es centren en l'estudi dels recursos hídrics relacionats amb les aigües termals o bé, les manifestacions volcàniques. Darrerament s'han publicat diverses tesis que tenen com a objectiu l'estudi conjunt d'aigües superficials i subterrànies, donant així una visió global de tota la conca hidrogeològica.

Un altre referent per aquest projecte són els estudis de vulnerabilitat que s'han fet aplicant la metodologia DRASTIC, utilitzada sobretot a Estats Units i Sud Amèrica. En canvi, a Europa ha tardat més temps en ser reconeguda i utilitzada.

En aquest apartat s'han agrupat els antecedents segons la temàtica, és a dir, estudis, treballs i tesis relacionats amb l'àrea d'estudi o bé, amb la metodologia DRASTIC.

Estudis geològics i hidrogeològics de l'àrea d'estudi:

- Dirección General de Obras Hidráulicas (1971). "Estudio de los recursos subterráneos de la zona de la Selva (Gerona)" en Estudio de los Recursos Hidráulicos totales del Pirineo Oriental (REPO, zona norte).
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 1993). Estudio hidrogeológico de la Selva.
- Vehí M, (2001). Geologia Ambiental de la Depressió de La Selva. Tesis doctoral de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Folch A i Roldán R, (2003). Estudio hidrogeológico de los acuíferos de la Riera de Santa Coloma de Farners. Treball del Curso Internacional de Hidrología Subterránea.

- FOLCH A, (2010). "Geological and human influences on groundwater flow systems in range-and-basin areas: the case of the Selva Basin". Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Vilanova E, (2004) Anàlisi dels sistemes de flux a l'àrea Gavarres-Selva-Baix Empordà. Proposta del model hidrodinàmic regional. Tesi doctoral de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Menció A, (2006) Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua de la depressió de la Selva. Tesi doctoral de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Estudis de vulnerabilitat de les aigües subterrànies utilitzant la metodologia DRASTIC, ja sigui aplicant-la directament o bé, fent un estudi comparatiu amb altres metodologies:

- ALLER L, BENNETT T, LEHR J, PETY R, HACKETT G, (1987). "DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings". ACS Symposium, US EPA Report 600/2-87/035, p. 622.
- AUGÉ M, (2004). "Vulnerabilidad de Acuíferos". Revista Latino-Americana de Hidrogeologia, 4, p. 85-103.
- AGRAWALI A, PANDEY R, SHARMA B, (2010). "Water Pollution with Special Reference to Pesticide Contamination in India". *Water Resource and Protection*, 2, p. 432-448.
- LAROIX A, LAURENT F, RUELLAND D, SABOUA E, (2006). "Nitrate pollution risk assessment: from the model to the indicator", *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 2, p. 206-223.

- NAPOLITANO A I FABBRI A, (1996). "Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS". *Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*, 235, p. 559-566.
- ROSEN L, (1994). "A Study of the DRASTIC methodology with Emphasis on Swedish conditions". *Ground Water*, 32 p. 278-285.
- SENER E., SENER S. I DAVRAZ A (2009). "Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta,Turkey)". *Hydrogeology Journal*, 17, p. 2023-2035
- STIGTGER T, RIBEIRO L i CARVALHO A, (2006). "Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal". *Hydrogeology Journal*, 14, p 79–99
- WITKOWSKI A, KOWALCZYK A, VRBA J, (2007). *Groundwater Vulnerability, Assessment and Mapping*. UK. Ed. Taylor & Francis.

2. Introducció i Objectius

Catalunya és un país amb molta activitat industrial on l'aigua ha esdevingut un recurs escàs i que des de fa temps està patint un ús intents. L'objectiu de la gestió de l'aigua a Catalunya i Espanya fins ara s'ha enfocat a garantir la disponibilitat d'aquest recurs gairebé a qualsevol preu, tendint a la creació de grans infraestructures. Hi ha zones de Catalunya on el recurs d'aigua és superior a la seva demanda, zones "excedentàries" i en zones el balanç d'aigua és negatiu, zones "deficitàries". Fins ara, la gestió de l'aigua s'ha encarat a cobrir la demanda de les zones "deficitàries" amb l'aport d'aigua de zones "excedentàries". Aquesta gestió no ha aconseguit acabar amb la forta competència que existeix per aquest recurs, tant entre diferents usuaris com entre els usuaris i el medi (Menció A, 2003).

L'augment de la població i del consum per càpita, la instal·lació d'indústries, l'agricultura intensiva, les noves urbanitzacions i els camps de golf associats, han contribuït a un increment molt important de la demanda de recursos hídrics. Les conseqüències d'aquest increment acompanyades d'una mala gestió han ocasionat greus problemes ambientals lligats a la sobreexplotació dels recursos i la degradació dels ecosistemes aquàtics. La major part del problema es deu al fort consum d'aigua que tenen les poblacions costaneres i industrials de Catalunya i sobretot a la gran concentració de la població i l'activitat industrial a la regió de Barcelona.

Alguns exemples de sobreexplotació són: el cas de l'Alt Empordà, amb la conseqüència de la intrusió salina l'any 1987 i el cas de Barcelona on fins els anys 70, la sobreexplotació va produir un descens dels nivells piezomètrics que van propiciar la intrusió salina. Ambdós casos, en l'actualitat han solucionat el problema i s'han recuperat paulatinament de la intrusió salina gràcies a l'abandonament forçat dels pous, com és el cas de la Muga a l'Alt Empordà, o per l'abandonament degut a la crisi econòmica a Barcelona (Menció A, 2003).

Altes impactes estan relacionats amb la pèrdua de qualitat de les aigües subterrànies com a conseqüència de la contaminació. Sovint la sobreexplotació i la contaminació actuen conjuntament, afectant tant la quantitat com la qualitat de l'aigua i dificultant les tasques de recuperació.

Tres dels factors causants de l'augment de la contaminació per nitrats, descrits en l'estudi *d'Aplicació de la Directiva Marc de l'Aigua relativa a la protecció de les aigües contra la contaminació produïda per nitrats utilitzats en la agricultura* (Directiva 2000/60/CE; DMA) que es compleixen a Catalunya i a la conca de l'Onyar són:

- Tendència creixent de la intensificació de l'agricultura que porta associat un augment en la utilització de fertilitzants de tipus químic, sobretot d'espècies inorgàniques. (Es va arribar a un màxim d'ús del nitrogen inorgànic d'11 milions de tones anuals a mitjans dels anys 80).
- Utilització dels fems procedents de la ramaderia per abonar els camps de conreu, a part dels productes inorgànics. (Aquesta pràctica es duia a terme d'una manera sostenible, però en l'actualitat la ramaderia es desenvolupa intensivament repercutint en l'augment de la càrrega total de nitrats a través de la lixiviació dels fems a través del subsòl).
- Evolució de les zones agrícoles, afavorint la destrucció de camps de pastura permanent i zones "tampó" (zones humides, zones amb arbusts), incrementant així l'erosió, l'escorrentia i el drenatge més ràpid dels nutrients als ecosistemes aquàtics i els aigües subterrànies.

Aquestes tendències tenen com a resultat que la major part de les zones agrícoles de Catalunya tinguin problemes de contaminació per nitrats en les aigües subterrànies, procedents de l'aplicació de purins i fertilitzants químics (Decrets 283/1998 i 476/2004, referents a les zones vulnerables en relació a la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries) (Fig. 2). La contaminació per difusió de nitrats a les aigües subterrànies es considerada una de les principals causes de deteriorament de la qualitat de l'aigua (Peña S, 2009).

Gràcies a la Directiva Marc de l'Aigua (Directiva 2000/60/CE; DMA) s'ha fet un pas endavant en temes de gestió i ús sostenible de l'aigua. Aquesta directiva contempla el cicle integral de l'aigua tenint en compte tant implicacions dinàmiques com ecològiques.

Implicacions que es fan més paleses als rius mediterranis caracteritzats per la seva variabilitat de cabals anual i interanual deguda al règim de precipitacions. Els ecosistemes aquàtics associats als cursos fluvials de la majoria de rius mediterranis pateixen pertorbacions causades per aquests canvis estacionals a part, de la mala gestió d'un augment pronunciat de la demanda.

Si ens centrem en les aigües subterrànies veiem que presenten certs avantatges respecte les aigües superficials, pel que fa a la resistència davant la contaminació. Davant un episodi de contaminació que pugui arribar afectar a l'aqüífer, les característiques del medi sovint retarden i/o atenuen la concentració del contaminant a la zona saturada. Gràcies aquest fet, sovint existeix a un marge d'actuació, però en cas que s'arribi a contaminar el sistema d'aigües subterrani, moltes vegades els volums d'aigua i les extensions que s'arriben afectar fan que, a diferencia dels rius, la correcció sigui difícil, costosa i molt lenta.

Per tant, es veu en la prevenció, l'alternativa preferible a la correcció per motius ambientals, socials i evidentment econòmics. Una de les eines més utilitzades en aquest sentit són els mapes de vulnerabilitat. Aquests, juntament amb els estudis específics, permeten millorar les mesures i accions en temes de protecció.

Un mapa de vulnerabilitat és un mètode d'avaluació qualitatiu, basat en l'ajust dels paràmetres hidrogeològics. En general, s'utilitzen per a grans àrees i estan directament relacionats amb les unitat hidrogeològiques existents.

Hi ha hagut molta discussió sobre si els mapes de vulnerabilitat proporcionen estimacions fiables de la contaminació potencials de les aigües subterrànies. En moltes aplicacions els resultats han estat bons i útils (Vrba J i

Zoporozec A, 1994), però en altres es troben discrepàncies entre els mapes de vulnerabilitat i la contaminació de les aigües subterrànies.

La finalitat d'aquest projecte és determinar la vulnerabilitat a la contaminació del sistemes aquífers de la conca de l'Onyar i estudiar si s'estableix alguna relació entre aquesta i les zones amb altes concentracions de nitrats. Complementàriament es vol valorar quins altres factors, apart dels hidrogeològics, poden afectar a la distribució d'aquests contaminants i a la seva ocurrència. Per tal d'assolir aquest objectiu el treball a realitzar es divideix en diversos punts:

- Consulta de diferents fonts bibliogràfiques com llibres i articles especialitzats sobre els diferents mètodes de sensibilitat que existeixen. Així, es podrà aplicar el mètode més adient atenent a les característiques de la conca.
- Recopilació i anàlisi de tots els treballs previs realitzats a la zona entre el que s'inclouen dues tesis doctorals. Aquesta informació permetrà establir el context geològic i hidrogeològic de la zona d'estudi.
- Realització de una campanya de camp en primavera per mesurar nivells piezomètrics en diversos pous així com fer un mostreig per a l'anàlisi de nitrat en diversos pous.
- Realitzar un mapa de vulnerabilitat a la contaminació de les aigües subterrànies de les de la conca a partir de la informació obtinguda en camp i els estudis previs així com altres fonts (precipitació, topografia, etc), utilitzant la metodologia DRASTIC.
- Valorar quines son les activitats socioeconòmiques que poden donar lloc a l'existència de nitrats a les aigües subterrànies i per tant, incrementen el perill d'ocurrència de la contaminació.
- Comparar la informació del mapa de vulnerabilitat, així com altra informació no hidrogeològica, amb la distribució de nitrats i analitzar la seva fiabilitat.

3. Característiques de la zona d'estudi

La conca hidrogràfica del riu Onyar (afluent del riu Ter) es situa a la part nord de la Depressió de la Selva i compren les comarques del Gironès i la Selva, estenent-se en una àrea de 295 m². Aquesta depressió està confinada entre la Serra de les Gavarres (535 m) a l'E, i la Selva Marítima (519 m), al sud. A més distància hi ha el sistema Montseny-Guilleries (1202 m) per la part occidental, i la Serralada Transversal al nord (998 m).

El recorregut del riu Onyar comprèn els municipis de Bescanó, Brunyola, Vilobí d'Onyar, Riudellots de la Selva, Sant Andreu Salou, Campllong, Fornells de la Selva, Quart i Girona (Fig. 1). El cabal del riu està condicionat pel règim estacional de precipitacions i per la relació riu-aqüífer. Assoleix els seus mínims durant els mesos d'estiu (al no superar els 0,46 m³/s) i presenta un cabal mitjà mensual de 1,82 m³/s (152,89 hm³/any) a la sortida de la conca. El seu cabal es veu afectat per l'explotació de l'aqüífer al·luvial, arribant a assecar-se durant llargs períodes en alguns trams del curs mitjà. (Menció A, Mas-Pla J, 2004)

A la conca de l'Onyar podem diferenciar tres unitats hidrogeològiques principals: l'aqüífer granític, afectat en algunes parts per falles regionals; l'aqüífer Neogen, format per una alternança llims alterats, sorres arcòsiques, graves i conglomerats amb baix contingut en argila donant lloc a un aqüífer multicapa; i els aqüífers al·luvials lligats als curos d'aigua principals, de caràcter lliure formats per sorres fines amb un elevat contingut de materials fins (llims i argiles) (Folch A, 2010).



Fig. 1: Ortofotomapa amb els límits de la conca de l'Onyar
Font: Elaboració pròpia

4. Materials i Mètodes

4.1 Vulnerabilitat de les aigües subterrànies

4.1.1 Marc Teòric

El concepte de vulnerabilitat d'un aqüífer fa més de quaranta anys que existeix però no s'ha arribat a un consens pel que fa a la seva definició. El concepte de vulnerabilitat prové de la idea que el medi físic situat per damunt d'un aqüífer protegeix amb més o menys grau aquest aqüífer de la contaminació.

Albinet i Margat (1970) defineixen la vulnerabilitat com la possibilitat de percolació i difusió dels contaminants des de la superfície del sòl fins als reservoris subterranis d'aigua en condicions naturals.

Segons Olmer i Rezac (1974), la vulnerabilitat de les aigües subterrànies és el grau de perillositat determinat per les condicions naturals i no pas, per les fonts actuals de contaminació.

Vrba i Zaporozec (1994) diuen que la vulnerabilitat és una propietat intrínseca del sistema d'aigües subterrànies que depèn de la sensibilitat del mateix als impactes humans i/o natural.

Carbonell (1993) defineix la vulnerabilitat a la contaminació com la tendència dels contaminants a localitzar-se en el sistema d'aigües subterrànies, després de ser introduït sobre l'aqüífer més superficial.

Custodio (1995) entén que la vulnerabilitat a la contaminació expressa la incapacitat del sistema per absorbir les alteracions, tant naturals com artificials. Una de les definicions recents de vulnerabilitat que ha tingut més ressò és la formulada per Foster (1987). Foster considera la vulnerabilitat a la contaminació de l'aqüífer com aquelles característiques intrínseques dels

estrats que separen la zona saturada de la superfície del terreny, les quals determinen la seva sensibilitat a ser adversament afectada per una carga de contaminant aplicada sobre la superfície.

La definició anterior ens serveix com a introductòria per diferenciar entre vulnerabilitat intrínseca o sensibilitat i la vulnerabilitat específica davant un contaminant. Aquest darrer concepte va ser introduït per Vrba (1998) i fa referència a la vulnerabilitat davant l'exposició d'un contaminant concret.

Al contrari de la vulnerabilitat específica, la vulnerabilitat intrínseca és independent de la natura del contaminant i de l'escenari de contaminació i té en compte característiques geològiques, hidrològiques i hidrogeològiques de la zona. Segons un estudi de Landreau (1996) la vulnerabilitat específica davant un contaminant és avaluada a partir del comportament teòric del contaminant tenint el compte tres medis: els sòl, la zona no saturada (ZNS) i la zona saturada (ZS). Cal afegir la infiltració ja que té un paper important sobre la migració dels contaminants.

El comportament del contaminant és funció de les característiques físico-químiques i bioquímiques del medi, així com les seves propietats físico-químiques. Els principals processos que es donen són:

- l'adsorció, que caracteritza el poder de fixació dels minerals i la matèria orgànica del sòl.
- la complexació, combinació química dels components, podent aquests migrar del producte inicial.
- la precipitació sota forma de compost complex e insoluble.
- la biodegradació que pot afectar a certs contaminants orgànics e inorgànics
- la volatilització de certs components.

4.1.2 Contaminació per nitrats

Les fonts responsables de la presència de nitrats a les aigües subterrànies es poden dividir en tres grups (Canter L, 1997):

- Fonts d'origen natural:
 - El nitrogen geològic present als minerals i les roques, pot avançar per lixiviació a través del sòl i arribar a les aigües subterrànies, degut a la pluja o a pràctiques d'irrigació per part de l'home.
 - El nitrogen emmagatzemat de forma natural als boscos, pot avançar cap a les aigües subterrànies, degut a la desforestació i altres alteracions dels boscos.
- Fonts d'origen residual:
 - Tractaments no adequats dels fems d'animals provinents de la ramaderia. Aigües residuals no tractades o efluents de depuradora.
 - Utilització inadequada dels fangs generats en depuradores.
 - Disposicions no adequades de fosses sèptiques.
 - Tractaments no adequats de les escombraries i els residus sòlids urbans.
- Fonts d'origen agrícola:
 - Ús excessiu de fertilitzants nitrogenats en l'agricultura intensiva.
 - Cultiu de llegums com els pèsols i les mongetes, que afavoreixen la fixació de nitrogen al sòl.

Les principals fonts de contaminació de la conca de l'Onyar són d'origen agrícola però també residual i part del subministrament d'aigua a la majoria dels municipis de la zona és d'origen subterrani. La presència de nitrats i/o fluorurs en alguns dels municipis ha fet que municipis com ara Quart, Llambilles, Cassà de la Selva i Llagostera, part o gairebé la totalitat de la seva demanda la supleixin amb aigües del transvasament del Pasteral. En altres

municipis com Riudellots de la Selva i Caldes de Malavella s'està estudiant la possibilitat d'utilitzar aigua del transvasament. (Menció A, Mas-Pla J, 2004).

La principal font d'origen agrícola de contaminació per nitrats és el gran augment del nombre de caps de bestiar, sobretot de tipus porcí, que ha convertit els purins en un problema mediambiental. Antigament els purins s'utilitzaven per la fertilització dels camps de conreu i anaven acompanyats amb adobs de tipus químic. Actualment existeix un excedent purins que, tot i ser repartit pels camps, no és assimilat ni per les plantes ni pel sòl. Els purins doncs, esdevenen un residu que lixivina cap al sòl i s'acumula en els aqüífers més superficials i en alguns casos també en els més profunds.

Pel que fa al conjunt de Catalunya les zones amb forta activitat ramadera, la presència de concentracions elevades de nitrats en els aqüífers, superiors als 50 mg/L que estableix la normativa vigent, es deu a l'abocament de purins.

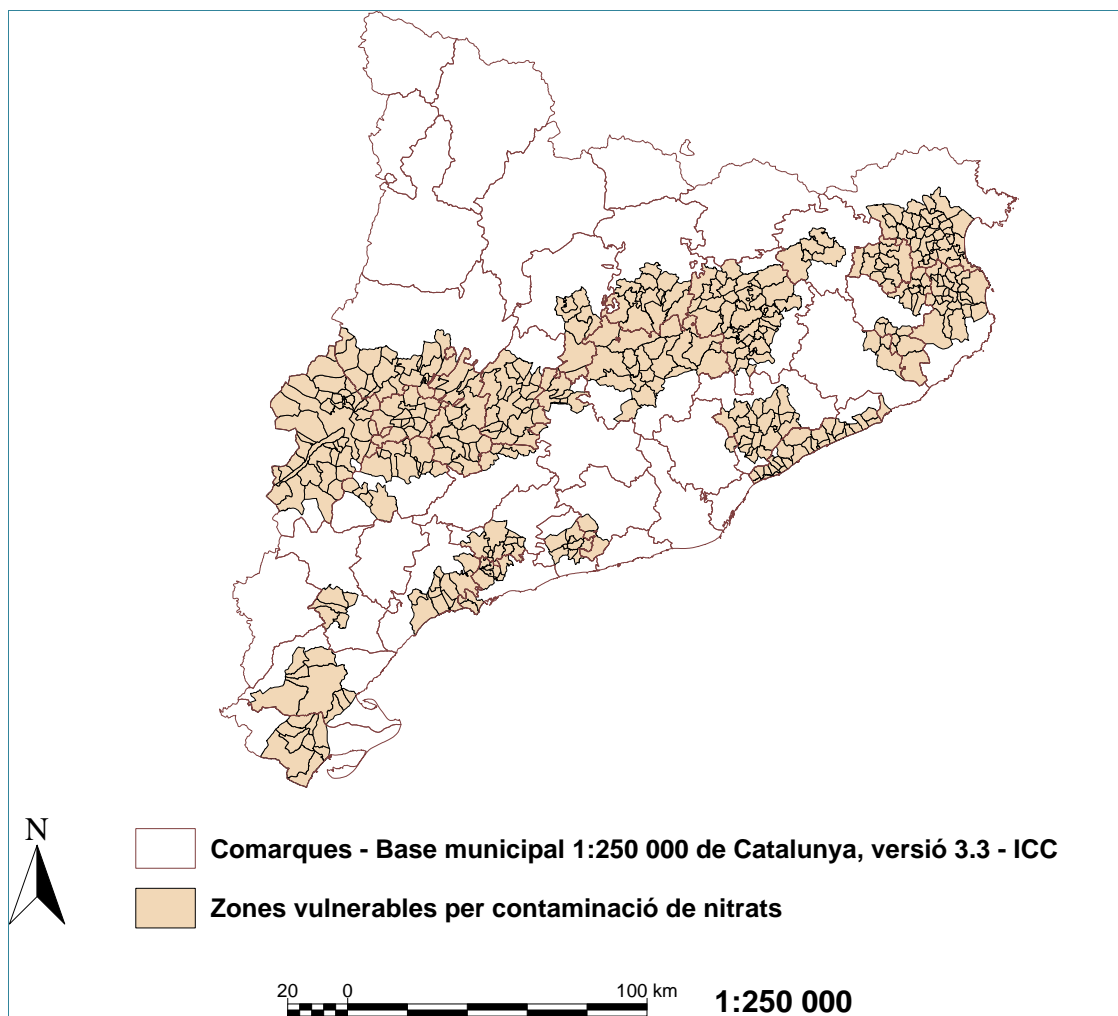


Fig. 2: Mapa de les zones vulnerables per contaminació de nitrats
Font: www.gencat.cat

El Govern de la Generalitat de Catalunya va designar l'any 1998 (Decret 283/1998, de 21 d'octubre), les zones vulnerables en relació a la contaminació per nitrats. Aquestes zones afecten a un total de 203 municipis de 15 comarques catalanes, agrupades en 6 àrees en les quals s'han definit les actuacions necessàries per corregir i prevenir aquesta contaminació (Fig. 2). Aquesta delimitació es va fer en consonància amb la Directiva de la Unió Europea 91/676/CEE, que es va transposar a l'Estat Espanyol mitjançant el Reial Decret 261/1996, de 16 de febrer, es treballa amb la finalitat de:

- Reduir la contaminació causada o provocada pels nitrats d'origen agrari.
- Actuar preventivament contra noves contaminacions d'aquesta mena.

En aquest marc, el Govern de la Generalitat de Catalunya, el 4 d'abril de 2000 va aprovar el Pla de prevenció i correcció de la contaminació per nitrats, que té per objectius específics actuar en quatre grans eixos:

- Mesures de gestió dels recursos hídrics.
- Mesures de gestió de les dejeccions ramaderes.
- Mesures de caràcter agronòmic (conreu racional del sòl).
- Mesures d'informació, control i capacitat

Les principals línies d'aquest Pla de prevenció van encarades a l'establiment de mesures agronòmiques que fixin les millors condicions per a l'adobament dels conreus sense impacte ambiental (com el Codi de bones pràctiques ambientals o el Decret 205/2000 de mesures agronòmiques), a la millora en la gestió de les dejeccions ramaderes perquè es destinin a l'agricultura les quantitats idònies i en les èpoques adequades i es tractin de manera ambientalment satisfactòria els excedents, i per últim les mesures ambientals necessàries pel que fa a la gestió dels recursos hídrics, especialment per garantir l'abastament d'aigua potable a les poblacions afectades per nitrats.

Referent a les fonts d'origen residual que poden contaminar els aquífers de la zona, les dues entrades més importants són: la incorporació d'aigües provinents de depuradora al curs del riu que posteriorment es poden infiltrar a l'aquífer (riu influent) i la disposició inadequada de les fosses sèptiques. L'increment d'aquestes fonts sovint s'ha vist reforçat pel desenvolupament urbanístic dels darrers anys.

La conca de l'Onyar és una zona de tradició agrícola i ramadera on paral·lelament també s'ha produït un increment en el desenvolupament urbanístic. En aquest context , les principals fonts de contaminació que s'estudiaran són les d'origen agrícola i les d'origen residual.

4.2 Cartografia de vulnerabilitat

La representació cartogràfica és la millor manera de sintetitzar qualsevol investigació sobre els recursos naturals i és aplicable a la hidrogeologia i a la vulnerabilitat de les aigües subterrànies en particular. Aconsegueix una representació de la distribució espacial de la vulnerabilitat de fàcil interpretació per a qualsevol persona i conté les característiques i la informació científica per ser útil a tècnics i professionals.

Els principals mètodes existents són els següents:

- **DRASTIC:** Desenvolupat per Aller et al. (1987) per l'Environmental Protection Agency (EPA), amb l'objectiu d'evaluar la vulnerabilitat intrínseca dels aqüífers. És el mètode utilitzat en aquest treball i una explicació detallada de la metodologia es troba en l'apartat de Materials i Mètodes.
- **SINTACS:** És una derivació del DRASTIC, desenvolupat per Civita et al (1990) per adequar-lo a les diverses característiques hidrogeològiques d'Itàlia i el requeriment d'un mapa més detallat.
- **GOD:** Aquest mètode va ser proposar per Foster (1987) i es basa en l'assignació d'índex entre 0 i 1 a tres variables (tipus d'aqüífer, litologia de la cobertura i profunditat fins l'aqüífer).
- **EPIK:** És un mètode paramètric desenvolupat per Doerfliger i Zwahlen (1997) i l'únic especialitzat en aqüífers càrstics.

Els factors que s'han tingut en compte per l'elecció del mètode són l'escala de treball, la informació disponible i les capacitats del software utilitzat.

4.2.1 Escala de treball

Els mapes de vulnerabilitat tenen com a finalitat la representació dels diferents nivells de vulnerabilitat de les aigües subterrànies d'una zona. Es poden utilitzar diferents escales segons els objectius i la precisió dels diferents paràmetres (Fig. 3). Per tant, existeix una relació entre els objectius de la representació, l'escala de la cartografia i els paràmetres utilitzats.

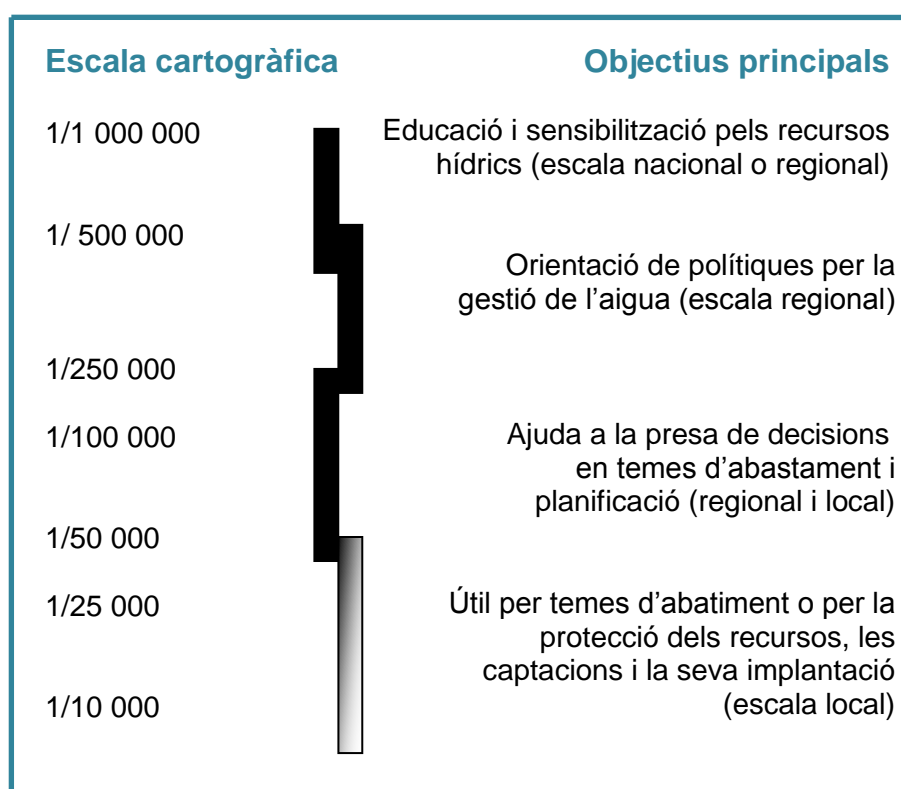


Fig. 3: Relacions entre l'escala de representació i la natura dels objectius
Font: Landreau, 1996

Els primers mapes que es coneixen de vulnerabilitat de les aigües subterrànies daten de l'any 1970. Es van realitzant tant a Europa com a Estats Units i utilitzaven escales de representació molt grans. Per exemple tenim a Albinet (1970) França, que utilitza una escala 1/ 1 000.000. Aquests mapes regionals s'utilitzen a nivell de reconeixement i engloben diverses províncies i/o estats , dins del país, tot el país, o fins i tot més d'un país (Auge M, 2004). Més endavant, a partir dels anys 1980, els mapes s'han fet utilitzant escales més

petites per representar espais territorials mes petits utilitzant criteris hidrogeològics més precisos (Landreau A, 1996).

En el present estudi s'ha utilitzat una escala 1/50 000 per representar una àrea de 295 km². Es tracta d'un mapa de semi detall que comprenen escales entre 1:25/000 i 1/100 000. Aquests mapes serveixen per l'estudi de conques hidrogeològiques, o unitats aquífers individuals, quan l'extensió no sobrepassa els pocs milers de km². Els mapes de semi detall aconseguixen una major definició de la vulnerabilitat aplicant la metodologia DRASTIC utilitzada en aquest estudi. En canvi, estudis regionals i semiregionals són més pràctics mètodes que requereixen menys paràmetres. (Auge M, 2004).

4.2.2 Informació disponible

Els mètodes GOD i EPIK necessiten informació relativa a 3 i 2 paràmetres respectivament. Per això són adients per a zones on no es disposa de gaires dades. Al disminuir el nombre de paràmetres és simplifica l'evaluació, però es perd definició. En canvi DRASTIC i SINTACS utilitzen informació de set paràmetres diferents, per tant requereixen de més informació bàsica necessària per a ser aplicats. (Auge M, 2004).

La quantitat i qualitat de la informació disponible ha estat determinant en l'elecció de la metodologia. El fet d'estudiar aquífers superficials dels quals es disposava de prou dades fiables ha permès obtenir informació dels 7 paràmetres que requereix el mètode DRASTIC.

4.2.1 SIG MiraMon

El Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) utilitzat és MiraMon. Aquest programa s'utilitza en àmbits científics, educatius i de gestió mediambiental des de 1994 i permet treballar tant amb capes ràster com amb capes vectorials.

En general, els SIG ofereixen nombroses avantatges si els comparem amb la cartografia convencional, ja que, faciliten la gestió i maneig de dades espacials internament referenciades i permeten realitzar processos d'informació de tipus digital i mapes (García L, 1997).

Segons Sendra (1992) un SIG és, entre altres coses, un programa d'ordinador i les seves principals funcions són:

- Funcions per l'entrada d'informació
- Funcions per la sortida/representació gràfica i cartogràfica de la informació
- Funcions de gestió de la informació espacial
- Funcions de transformació i anàlisi

Amb aquestes funcions, a partir d'una sèrie de mapes inicials i mitjançant l'aplicació de funcions analítiques concretes (interpolació, reclassificació, combinació de capes, etc.), s'han realitzat mapes intermedis per arribar a elaborar un mapa final.

El sistema de referència de tots els mapes és l'oficial ED50 projecció UTM del fus 31 i el pas de malla és de 30m. Els mapes utilitzats s'han extret de llocs oficials com d'Institut Cartogràfic de Catalunya i la web de la Generalitat o bé, de treballs específics com la *Realització d'un model numèric del flux d'aigua associat a la Riera de Santa Coloma* (ACA, 2009) i diverses tesis com ara *Geological and human influences on groundwater flow systems in range-and-basin areas: the case of the Selva Basin*, per Albert Folch (2010); *Model hidrològic del riu Onyar*, per Francesc Xavier Ros (1997); *Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva*, per Anna Menció (2005).

4.3 Mètode DRASTIC

Aquest estudi ha utilitzat el software SIG MiraMon, per aplicar el model DRASTIC desenvolupat als Estats Units per l'Environmental Protection Agency (EPA) l'any 1987. Aquest mètode es desenvolupa en base tres assumpcions:

- Els possibles contaminants es troben sempre en superfície.
- Els contaminants arriben a la zona saturada pel mecanisme de la infiltració eficaç.
- El contaminant té la mobilitat de l'aigua
- L'àrea avaluada és de 0.404 km² o més.(100 acres)

L'acrònim DRASTIC (Aller et al., 1987), correspon a les inicials de set factors hidrogeològics i/o físics (Taula. 1) :

D	Profunditat fins l'aigua (Depth to water table)
R	Recàrrega Neta (Recharge)
A	Materials que conformen l'aqüífer (Aquifer media)
S	Tipus de sòl (Soil media)
T	Pendent (Topography,slope)
I	Litologia de la zona no saturada (Impact of Vadose Zone Media)
C	Permeabilitat (Conductivity)

Taula 1: Descripció de les inicials
Font: Manual DRASTIC

És un sistema per avaluar el potencial de contaminació utilitzant un rang numèric en diferents realitats geològiques. El sistema consta de tres parts: pesos, rangs i classificacions.

S'assigna un pes a cada factor segons la importància relativa que tingui aquest sobre la determinació de la vulnerabilitat intrínseca.

Factor	Pes
Profunditat fins l'aigua	5
Recàrrega Neta	4
Materials que conformen l'aquífer	3
Tipus de sòl	2
Pendent	1
Litologia de la zona no saturada	5
Permeabilitat	3

Taula 2: Pesos de cada factor
Font: Manual DRASTIC

El rang de valors és d'1 a 5, assignant 5 als factors més determinants com la profunditat fins l'aigua i la litologia de la zona no saturada. I assignant 1 al de menys importància, en aquest cas, el pendent.

Cal mencionar que aquests valors han estat designats pel comitè de la EPA a través d'un consens arribat amb el mètode Delphi. La finalitat d'aquest mètode és:

- Maximitzar les avantatges de les metodologies basades en grups d'experts, aprofitant-se de la sinèrgia del debat en grup.
- Minimitzar els inconvenients a patir de l'eliminació de les interaccions socials.

Tot i que els pesos han estat escollits per un panell d'experts, en treballs específics s'ha vist que autors han decidit modificar aquests valors per ajustar-lo i fer-lo més adient a la realitat estudiada.

Pel que fa a la metodologia DRASTIC, cada factor està dividit en rangs o tipologies que tenen un impacte en la determinació de la vulnerabilitat intrínseca.

Als factors D, R, S, T, i C se'ls hi ha assignat un valor per rang, en canvi als factors A e I tenen rangs més variables i es dona el cas d'haver-hi classificacions iguals per a rang diferents.

Els rangs variables permeten ajustar els valors basats en coneixements acurats de la zona d'estudi.

Les classificacions van d'1 a 10 i serveixen per avaluar els rangs uns respecte els altres, per a cada factor.

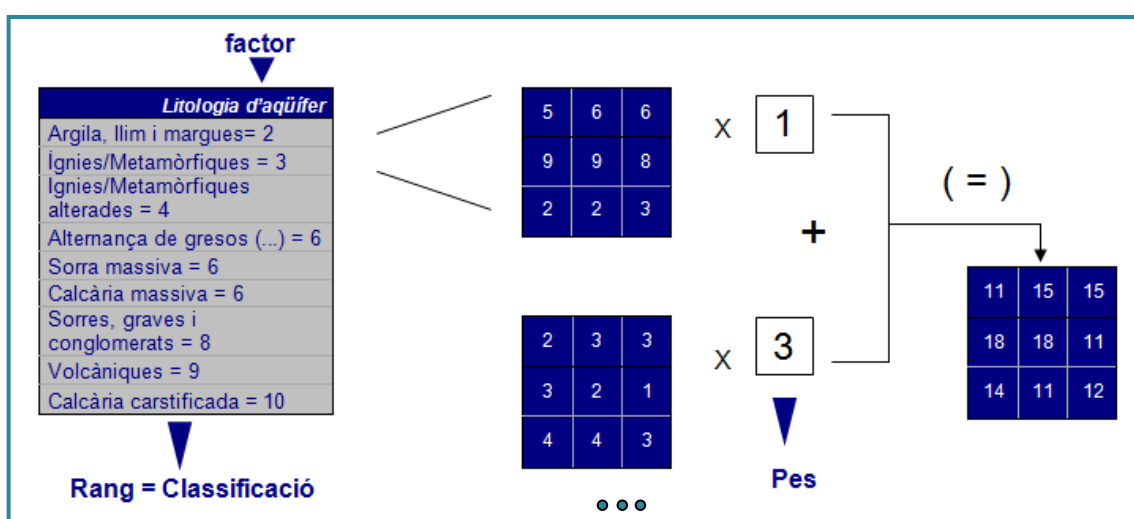


Fig. 4: Representació gràfica de la metodologia
Font: Elaboració pròpia

L'equació per determinar l'índex DRASTIC és:

$$\text{Índex DRASTIC} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw$$

On les lletres majúscules representen els set factors hidrgeològics, r fa referència al rang, i w el pes.

Un cop calculat l'índex DRASTIC és possible identificar les àrees més susceptibles de ser contaminades en relació les unes a les altres. Com més alt és l'índex, més alt el potencial de contaminació. Cal deixar clar que aquest

mètode és una eina que no dona resultats absoluts, sinó avaluacions relatives com la major part dels mapes de vulnerabilitat..

El fet que el mètode estigui basat en un gran nombre de paràmetres és una propietat que limita la variabilitat dels resultats i per tant, dels impactes o errors de paràmetres individuals (Rosen L, 1994).

4.3.1 Factors hidrogeològics

- Profunditat fins el nivell freàtic

La profunditat fins el nivell freàtic és important primerament perquè determina la profunditat del material, a través del qual, ha de passar un contaminant per arribar a l'aquífer. Per tant, és un paràmetre que pot ajudar a determinar el temps de contacte entre el contaminant i el medi. La profunditat fins l'aquífer també és important perquè el temps de trànsit entre la superfície i el nivell freàtic és el moment en que el contaminant té la més oportunitats per se afectat per processos d'oxidació, adsorció, biodegradació entre altres. A més profunditat, més capacitat d'atenuació, ja que augmenta els temps de trànsit.

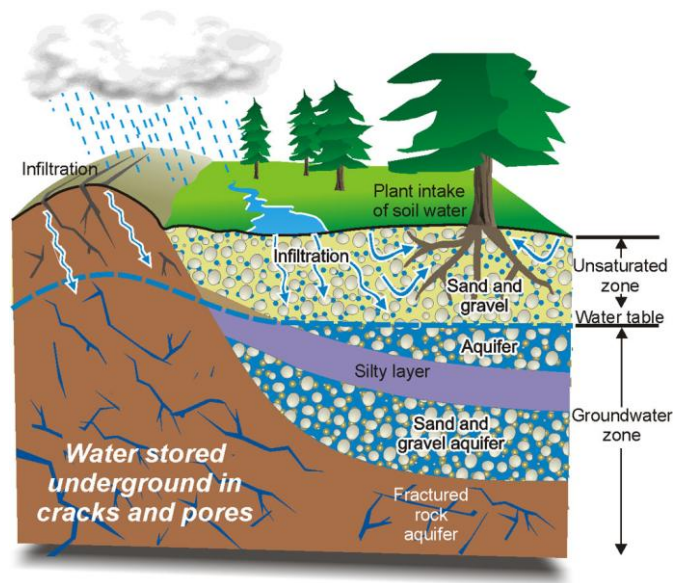


Fig. 5: Emmagatzematge d'aigua subterrània en porus i fractures.
Font: www.geoscape.nrcan.gc.ca

- Recàrrega

La recàrrega és també un dels factors més importants, juntament amb la profunditat fins l'aqüífer i la litologia de la zona no saturada. Representa la quantitat d'aigua per unitat de superfície que penetra en el sòl i arriba fins al sistema d'aigües subterrànies. La recàrrega és un dels factors que presenta més dificultats i diferències a l'hora de ser comptabilitzada.

- Litologia de l'aqüífer

Es tracta del medi geològic que conforma l'aqüífer ja sigui consolidat o no consolidat. El sistema de flux que existeix està directament relacionat amb els materials que conformen l'aqüífer. Aquests tenen influència sobre la ruta que seguirà un contaminant en cas que hi hagi un accident, tot i no se la única ruta; i la longitud de la trajectòria. Durant la trajectòria es pot donar lloc a processos d'absorció, reacció i dispersió del contaminant; d'aquí la importància de la seva longitud.

- Tipus de sòl

El sòl és la capa externa de l'escorça terrestre, originada per l'alteració de les roques sota la influència dels agents atmosfèrics i dels éssers vius. Té un especial impacte en la quantitat de recàrrega que infiltra fins l'aqüífer i per tant, en les facilitats del contaminant per moure's verticalment fins a la zona saturada. La presència de materials impermeables pot restringir l'entrada de contaminants. En lloc on el sòl és gruixut els processos d'atenuació de la filtració, biodegradació, l'absorció i la volatilització poden tenir molta importància.

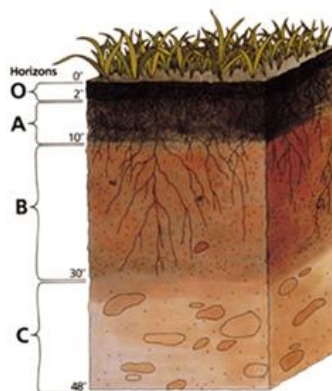


Fig. 6: Horitzons d'un perfil del sòl
Font: http://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Soil_profile.png

- Pendent

El pendent ens dóna informació sobre la variabilitat de la capa terrestre de la zona d'estudi. Segons com sigui aquest pendent facilitarà més o menys la feina al contaminant per arribar a l'aqüífer. A les zones amb grans pendents se'ls hi associa valors importants d'escorrentia superficial limitant l'entrada al subsòl, en canvi, en zones amb pendents poc pronunciats el contaminat té més possibilitats d'infiltrar-se.

- Litologia de la zona no saturada

La zona no saturada és troba just per sobre de l'aqüífer i conté espais no saturats d'aigua i altres parcialment saturats. En aquesta zona s'hi donen processos de biodegradació, neutralització, infiltració mecànica, reacció química, volatilització i dispersió. A mesura que baixem en profunditat els mecanismes de biodegradació i volatilització es fan menys palesos. El tipus de material d'aquesta zona també controla la longitud de la trajectòria i la ruta que segueix un contaminant. En conseqüència, també controla el temps existent per l'atenuació i la quantitat de contaminant que arriba a l'aqüífer.

- Permeabilitat

Fa referència a la facilitat que tenen els materials de l'aqüífer per deixar passar l'aigua i controla la velocitat a la qual l'aigua fluirà sota un gradient hidràulic donat. Per tant, també controlarà la velocitat a la qual es mourà el contaminant un cop dins l'aqüífer, ja que, la tercera assumpció del mètode (Apartat 4.3 Mètode DRASTIC) és que el contaminant té la mobilitat de l'aigua.

4.3.2 Característiques de les zones amb més vulnerabilitat intrínseca

La metodologia DRASTIC considera que les següents condicions contribueixen a un alt potencial de contaminació.

Poca profunditat de les aigües subterrànies (D), que genera curts temps de trajecte del contaminant en la zona no saturada i per tant poques possibilitats d'atenuació (per exemple a través de l'oxidació o la interacció amb l'entorn).

Alts valors de recàrrega neta (R), ja que és el principal vehicle per lixiviació de contaminants a l'aqüífer. Però en aquest cas, ens trobem davant de l'exemplificació de la doble valoració que es pot fer per a un mateix paràmetre. Una gran quantitat d'aigua de recàrrega ens indica que la major part del contaminant arribarà a l'aqüífer (assumint que té la mateixa mobilitat de l'aigua), però al mateix temps l'està diluint.

Materials que conformen l'aqüífer (A) amb una alta permeabilitat i que no reaccionin, així no ofereixen resistència als contaminants.

Manca d'argila i material orgànic en el sòl (S), fet que propicia poca capacitat d'atenuació i un augment de la mobilitat del contaminant.

Valors de pendent (T) que disminueixin al màxim l'escorrentia superficial i l'erosió, facilitant la infiltració. Aquests valors s'obtenen amb una topografia plana.

Alta permeabilitat de la zona no saturada (I), propiciant així una lixiviació més ràpida del contaminant cap a l'aqüífer.

Alta conductivitat hidràulica (C), fet que permet una ràpida propagació del contaminant a tot l'aqüífer.

4.4 Treball de camp

S'han extret mostres de 30 pous que exploten aqüífers superficials a la conca de l'Onyar. La campanya s'ha realitzat el mes de maig, final de l'època pluges. Els punts utilitzats formen part de l'inventari de Folch (2010), però un cop al camp s'han afegit punts per ampliar algun sector. En tots els casos es tracta de pous que estan en funcionament de forma habitual amb l'objectiu de obtenir una mostra representativa de l'aqüífer. En tots els casos la mostra s'ha obtingut amb el pou estan en funcionament.

S'han agafat mostres per fer l'anàlisi de nitrats i complementàriament s'ha mesurat la temperatura, la conductivitat i el nivell piezomètric. La temperatura i la conductivitat ens poden ajudar a interpretar els resultats es cas necessari. El nivell piezomètric s'ha mesurat en pous no afectats pel bombeig, mesurant així el nivell hidràulic natural.

Per mesurar el nivell piezomètric s'ha utilitzat una sonda d'hidronivell, Nordmeyer de 30m. La temperatura i la conductivitat s'han mesurat simultàniament amb WTW Cond. 330i i les mostres s'han analitzat mitjançant el test de nitrats AQUANAL-plus i un espectrofotòmetre de camp de la casa Windaus.

De cada punt de mostreig s'ha agafat un mostra i s'ha recollit en un recipient de 50ml. Tots els recipients s'han retolat amb informació sobre el codi del punt de mostreig i la data del mostreig. L'anàlisi de les mostres ha consistit en la dissolució de reactius que actuen d'indicadors afectant el color de la mescla. La intensitat del color s'ha calculat posteriorment amb l'espectrofotòmetre de camp.

5. Resultats

5.1 Mapa de profunditats fins el nivell freàtic

La profunditat fins el nivell freàtic és una informació que s'obté a partir de piezometries realitzades a la zona. En aquest cas s'han utilitzat dades de la tesi doctoral *Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva*, per Anna Menció (2005). Les dades que s'han utilitzat per calcular la profunditat són del desembre de 2003. S'han utilitzat aquestes dades perquè representen una època entremitja entre la més seca i per tant amb nivells més baixos (estiu), i el final de la més humida (maig) i per tant nivells més alts. Així, el gruix representat en aquesta campanya es representatiu d'un valor mig anual.

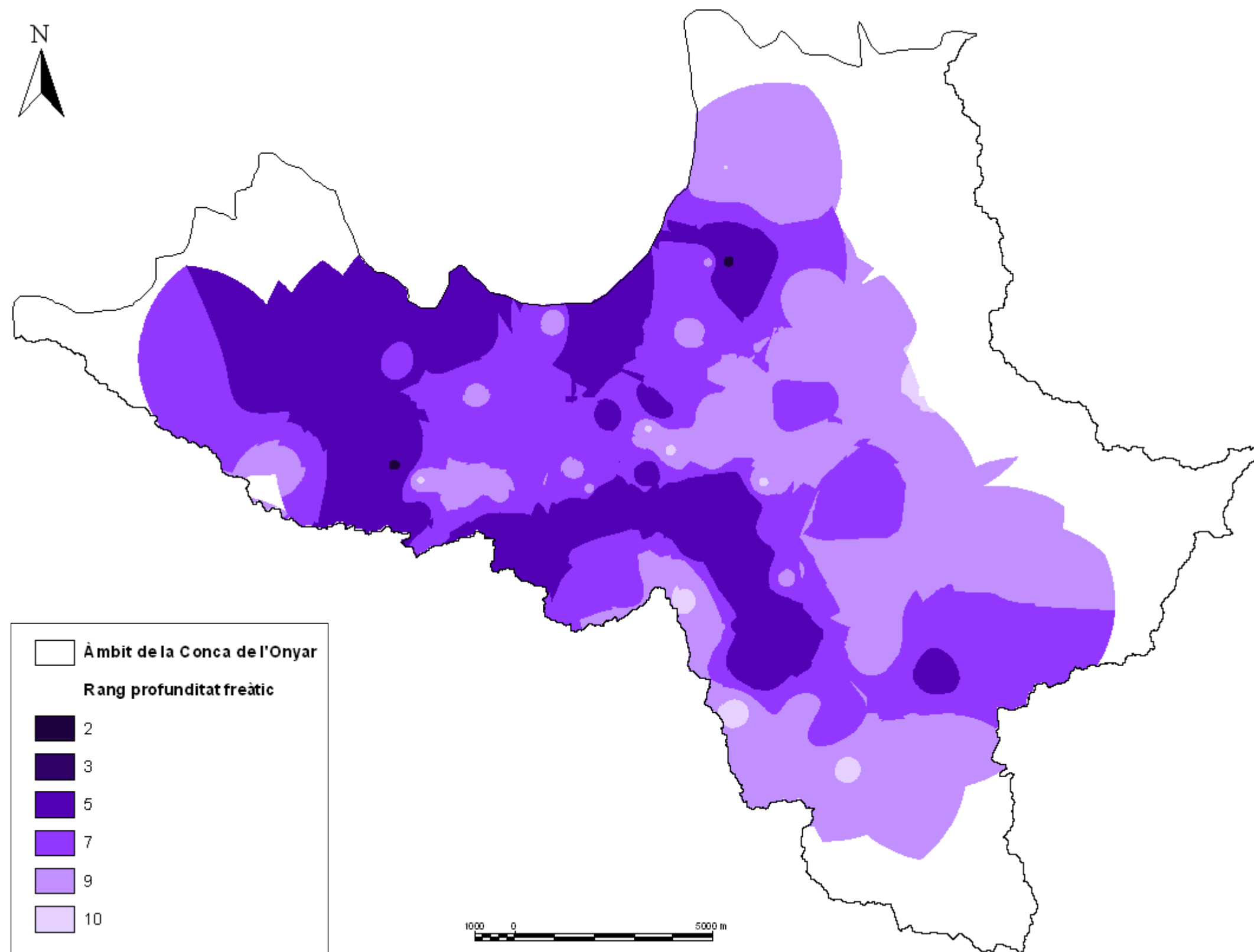
La classificació proposada per la metodologia DRASTIC és la que es mostra a la taula, són profunditats on el potencial de contaminació varia.

Profunditat fins l'aquífer (m)	
Rang	Classificació
0.0 – 1.5	10
1.5 - 5	9
5 – 9	7
9 – 22	5
22 - 30	2
> 30	1

Taula 3: Rangs de profunditat
Font: Aller , 1987

Les dades utilitzades pel mapa provenen de piezometries d'aquífers superficials, de 133 pous representatius de la conca de la l'Onyar realitzades el desembre de l'any 2003. El càlcul s'ha fet a partir de la interpolació de les dades anteriors utilitzant l'invers de la distància com a mètode d'interpolació. El criteri de selecció de punts ha estat: una distància màxima entre punts de 2000m i la selecció de 5 punts propers amb un mínim de 3.

S'han agrupat els resultats en rangs que van de 0 a 30 metres de profunditat i, a partir de la classificació DRASTIC que mostra la taula anterior, s'ha elaborat el mapa.



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura 7	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu Onyar			
MAPA DE PROFUNDITAT FINS EL NIVELL FREÀTIC			

5.2 Mapa de recàrrega

Tal i com s'ha indicat a l'apartat on es descriuen els factors hidrogeològics, la recàrrega n'és un dels més complexos i per tant, més difícil és el seu càlcul. Aquesta complexitat genera una gran divergència alhora de ficar-se d'acord. Hi ha autors que es limiten a donar el valor de la precipitació anual de la zona, en canvi, altres tenen en compte factors com l'escorrentia superficial, el retorn per reg..

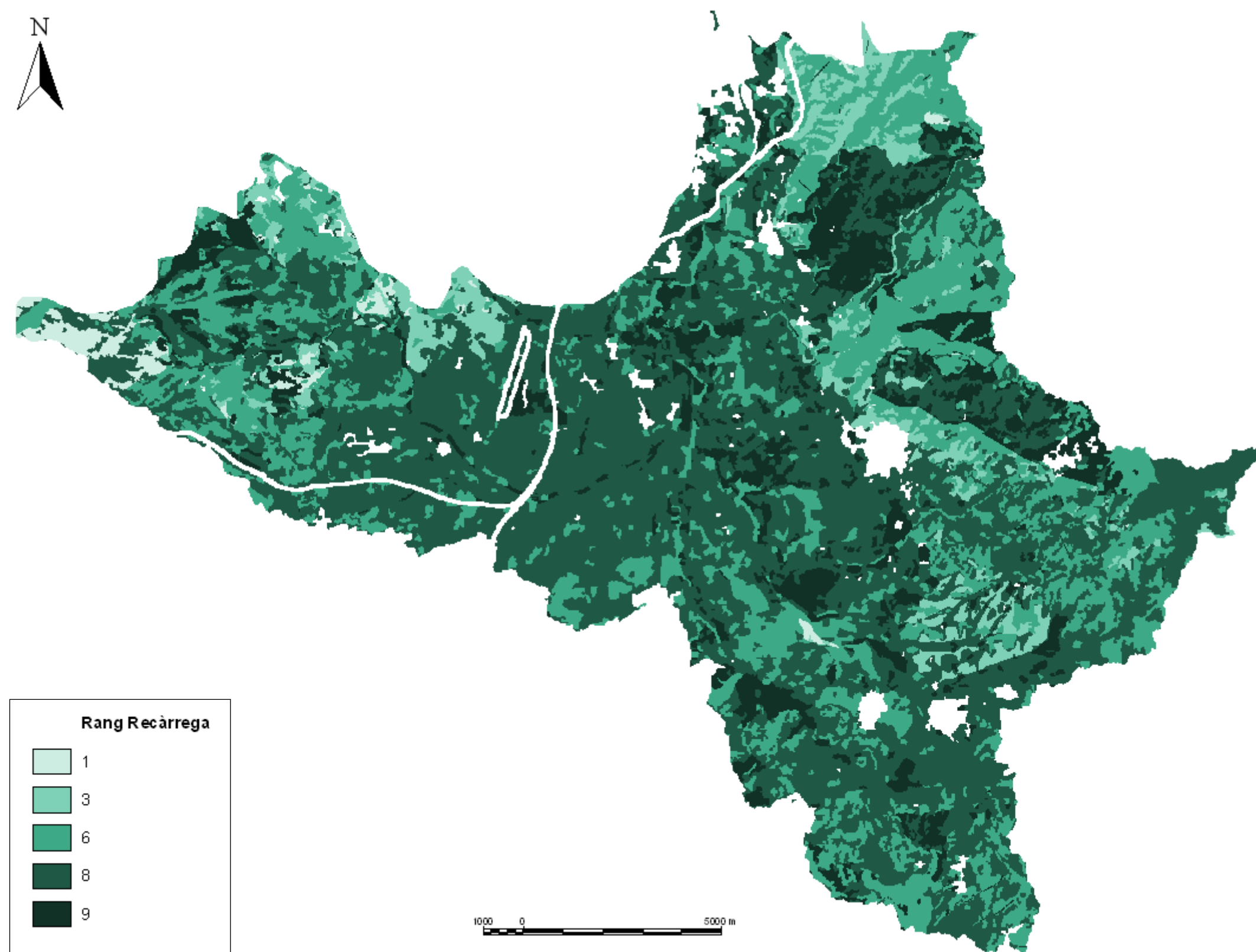
És ben conegut que la recàrrega neta és un dels principals vehicles del transport de contaminants. Per tant, se li ha volgut donar el tracte que es mereix calculant-la seguint el mateix procediment que s'ha utilitzat en *Realització d'un model numèric del flux d'aigua associat a la Riera de Santa* (ACA, 2009). Aquest model té en compte: la precipitació, l'evapotranspiració, lllindar escorrentiu, textura del sòl, etc. Per la realització d'aquest mapa han estat necessaris un mapa dels diferents tipus de conreu amb una classificació específica i un mapa geològic de diferents formacions.

Recàrrega neta (mm)	
Rang	Classificació
0 - 50	1
50 - 100	3
100 - 180	6
180 - 250	8
>250	9

Taula 4: Rangs de la recàrrega
Font: Aller, 1987

La recàrrega de l'aquífer al·luvial es produeix gràcies el drenatge superficial dels massissos de les Gavarres, Guillerries i del flux subterrani procedent dels turons amb materials neògens de la depressió. Els materials granítics del centre de la depressió, presenten un gran nombre de fractures i discontinuïtats que permeten el flux subterrani i la recàrrega de nivells d'aquífer més profunds.

L'aqüífer del Neogen es recarrega principalment a través de la precipitació i per continuïtat hidràulica amb les formacions ígnies i/o metamòrfiques situades al límits de la depressió.



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura 8	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu Onyar			
MAPA DE RECÀRREGA NETA			

5.3 Mapa de materials de l'aquífer

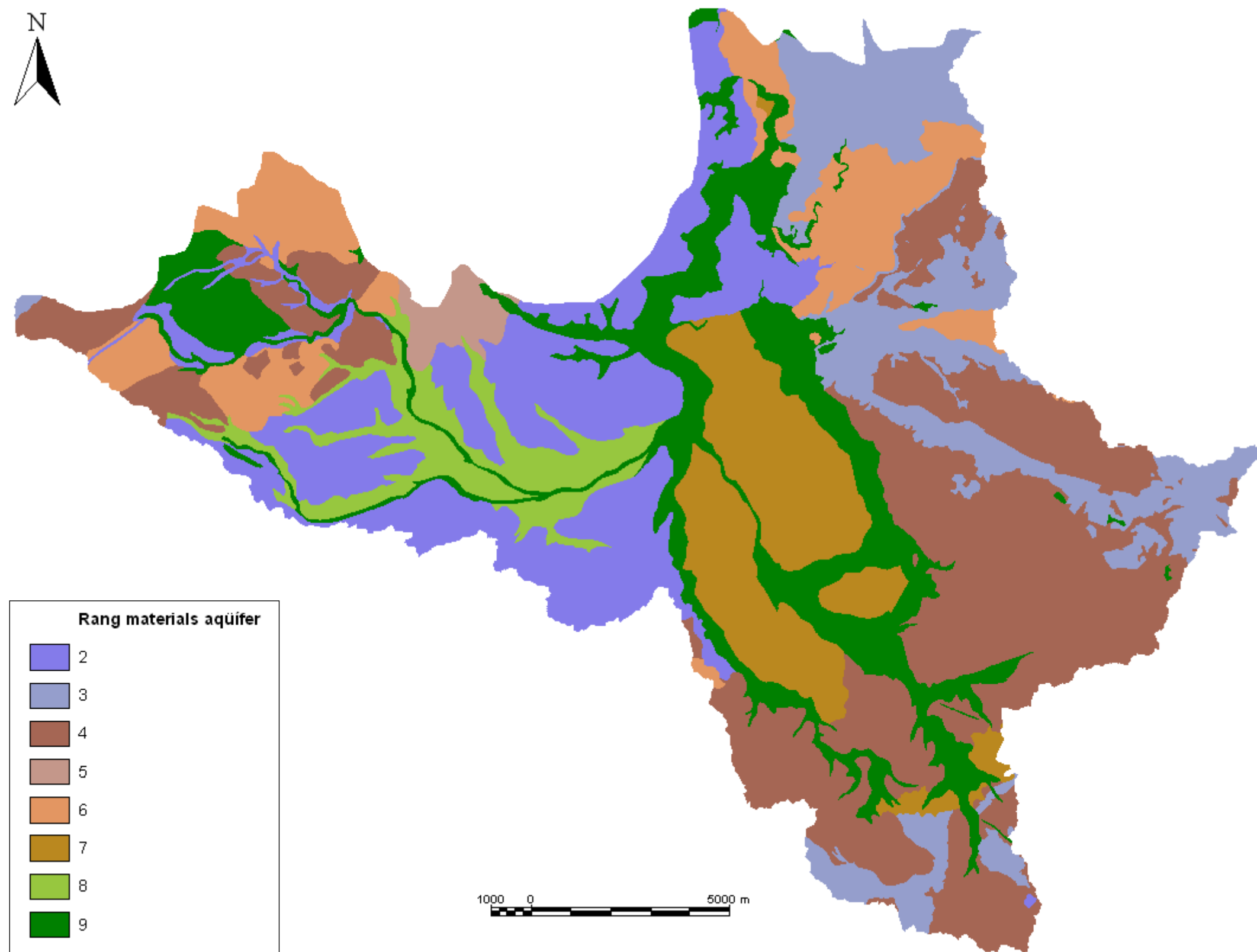
Per la realització d'aquest mapa s'ha utilitzat com a base una còpia del mapa geològic de la web de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya amb informació sobre les litologies. (www.gencat.cat).

Materials de l'aquífer		
Rang	Classificació	C. Típica
Esquist massiu	1 - 3	2
Metamòrfic/Igni	2 - 5	3
Metamòrfic/Igni meteoritzada	3 - 5	4
Sediment glacial	4 - 6	5
Gres estratificat, calcària i seqüències de pissarra	5 - 9	6
Gres massís	4 - 9	6
Calcària massissa	4 - 9	6
Sorra i grava	4 - 9	8
Basalt	2 - 10	9
Calcària càrstica	9 - 10	10

Taula 5: Rangs dels diferents materials que conformen l'aquífer
Font: Aller, 1987

A través de les diferents aplicacions del MiraMon, com ara la digitalització i l'estructuració topològica s'ha modificat el mapa original. S'han eliminat les litologies que només formen part de les capes més superficials, com ara, el calitx, i algunes argiles. I s'han substituït per litologies que sí que es troben a nivells més profunds. Litologies poc representades com els pòrfirs s'ha simplificat a la categoria de roques ígnies.

Una explicació més detallada de tots els processos es troba a l'apartat d'Annex I.



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura: 9	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu Onyar			
MAPA DE MATERIAS DE L'AQÜÍFER			

5.4 Mapa de textures del sòl

La textura és la propietat que expressa les característiques del sòl en funció de la mida de les partícules. La determinació de la classe textural a la que pertany un sòl es pot fer mitjançant un diagrama triangular que, expressa els percentatges de sorra, lim i argila que conté cada classe. Actualment s'utilitzen dues classificacions, la de la Societat Internacional de la Ciència del Sòl (ISSS) i la del Departament d'Agricultura dels Estats Units (USDA, Fig. 10).

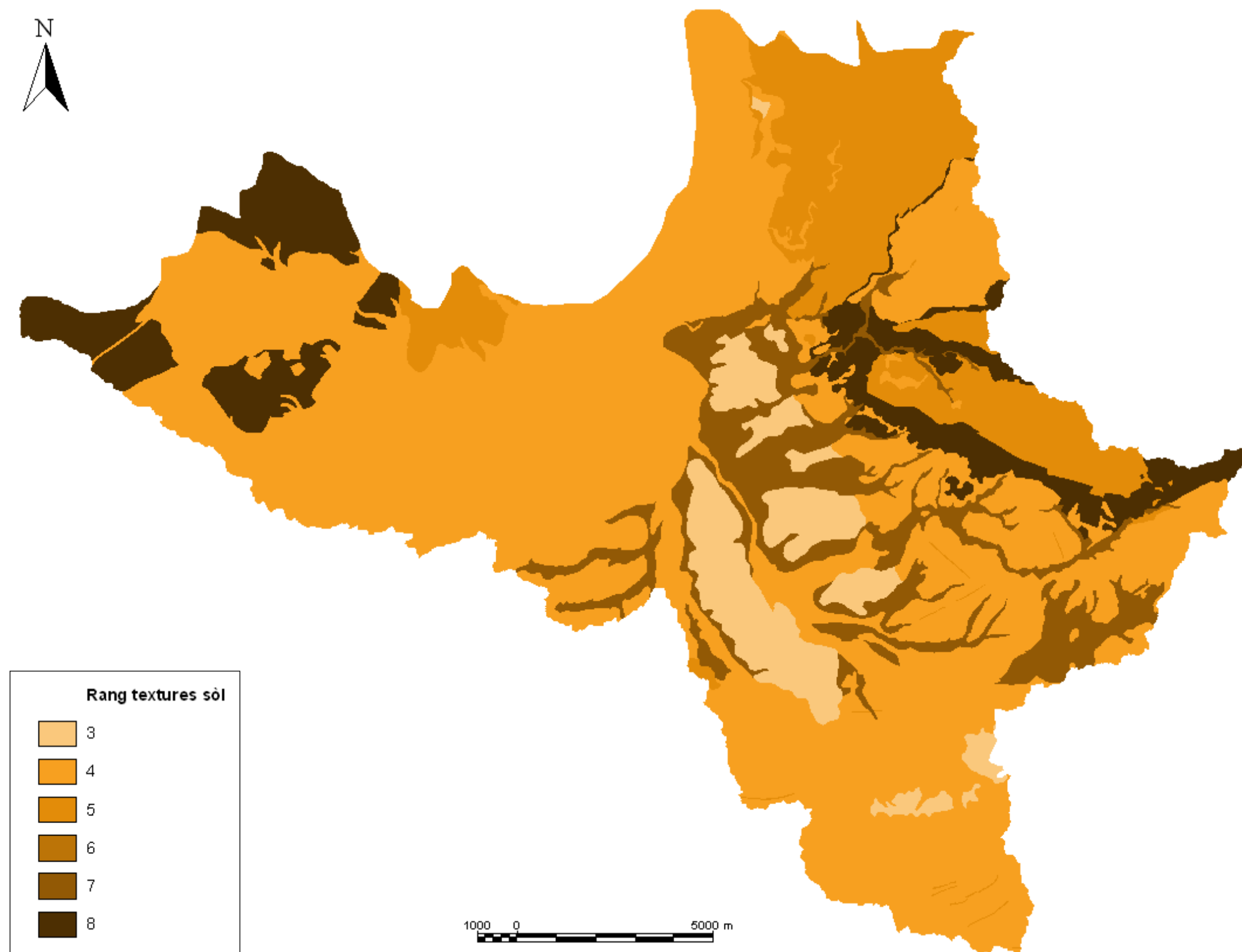


Fig. 10 Classificació de les textures del sòl (Soil Conservation Service, 1951)
Font: www.soilsensor.com

Els rangs utilitzats per DRASTIC provenen de la classificació USDA anteriorment citada. La informació relativa a la textura s'ha extret de la tesi doctoral *Model hidrològic del riu Onyar*, per Francesc Xavier Ros (1997).

Textura del sòl	
Rang	Classificació
Prim o absent	10
Grava	10
Sorra	9
Turba	8
Argila expansiva i/o agregada	7
Arenosa franca	6
Franca	5
Franca limosa	4
Franca arenosa	3
Humus	2
Argila no expansiva i/o no agregada	1

Taula 6: Rangs de les diferents textures de sòl
Font: Aller, 1987



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura: 11	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu Onyar			
MAPA DE TEXTURES DEL SÒL			

5.5 Mapa de pendents

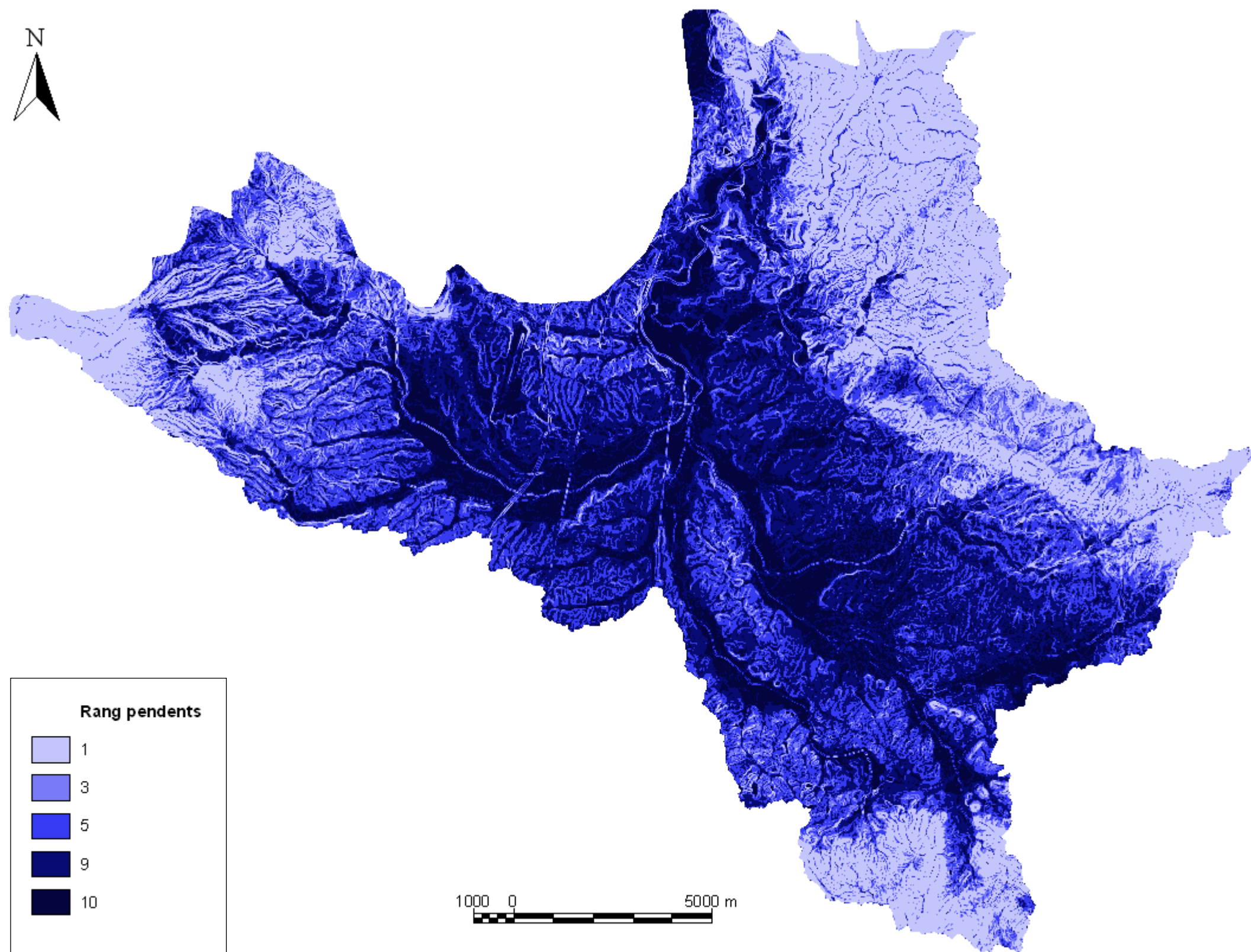
En aquest cas s'ha partit d'un Model Digital d'Elevacions (MDE) de la conca del Ter. És un MDE de Catalunya amb un pas de malla de 15 m, el sistema de referència és l'oficial ED50 projecció UTM fus 31 i les cotes estan donades en metres i són cotes ortomètriques.

A través de les eines d'anàlisi del terreny de MiraMon i més concretament, l'aplicació de pendents i orientacions, s'ha elaborat el mapa de pendents. Han estat necessaris certs ajusts a causa de l'error que generen aquest tipus de càlculs. Una explicació més detallada de tot el procés es troba a l'apartat d'Annex I.

Pendent	
Rang	Classificació
0 - 2	10
2 - 6	9
6 -12	5
12 - 18	3
18 +	1

Taula 7: Rangs de pendent
Font: Aller, 1987

El pendent és el paràmetre amb menys pes dintre de la metodologia DRASTIC, tot i així, cal recordar la seva importància en l'escolament superficial.



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura: 12	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu Onyar			
MAPA DE PENDENTS			

5.6 Mapa de la litologia de la zona no saturada

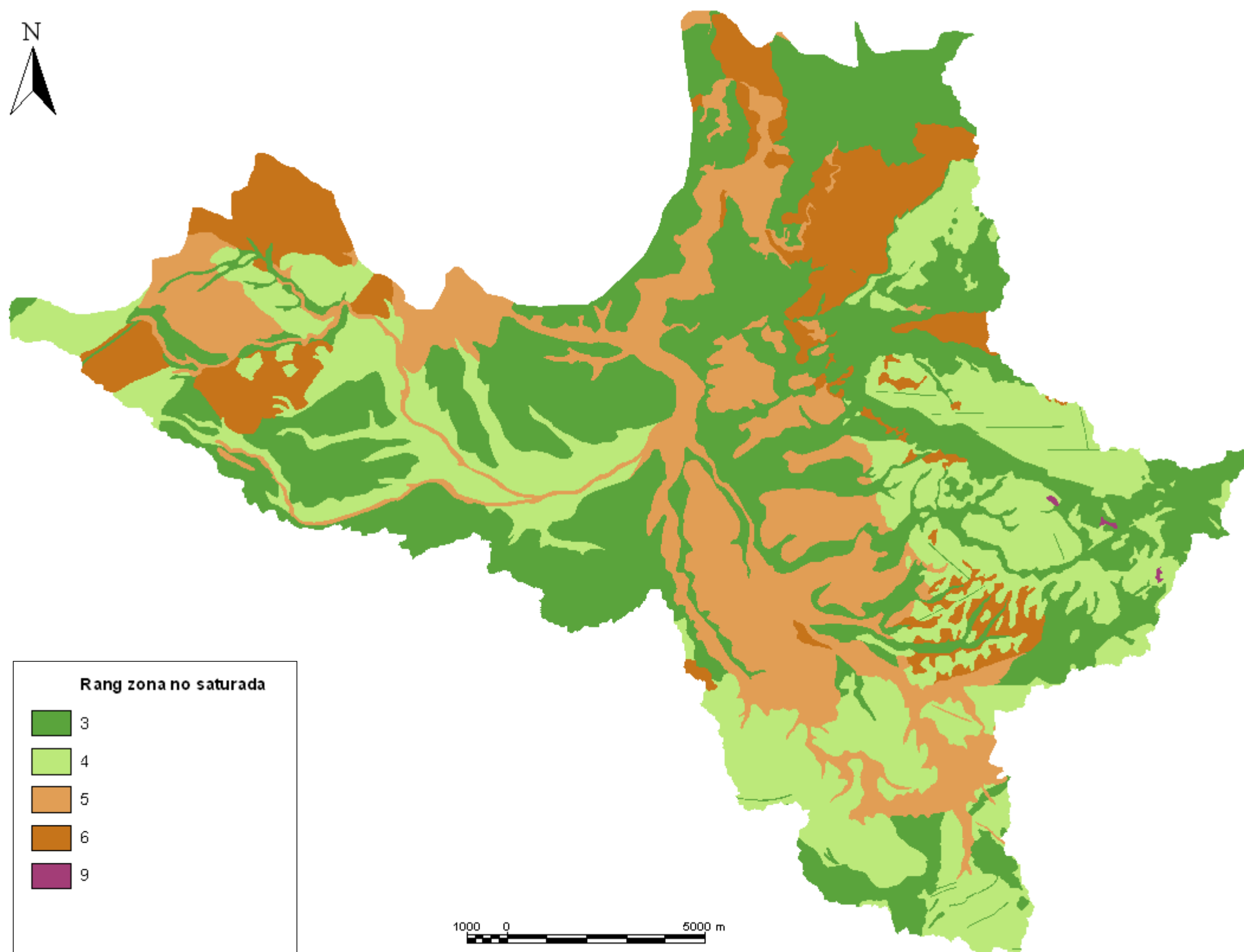
A la conca de l'Onyar es distingeixen quatre grups de litologies que estan aflorant. Per una banda, tenim la litologia cristal·lina dels massissos que voregen la depressió que estan formats de roques plutòniques (gneis i granits) i metamòrfiques (pissarres, micasquists i quarsites) deformades en l'orogènesi hercínica. També trobem aquestes formacions sota els materials neògens del fons de la depressió.

Per altra banda, tenim la litologia volcànica representades pels piroclasts i escòries procedents de la Clora de Sant Dalmai. I per últim litologia sedimentària on tenim materials del paleogen (sediments detrítics vermells i calcàries), els cons al·luvials del Neogen que continuen al quaternari i els materials al·luvials (Menció A, Mas-Pla J, 2004).

Aquestes litologies s'han extret del mapa geològic de la web de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya (www20.gencat.cat) s'han agrupat segons els rangs de la taula posterior i per últim se'ls hi ha donat el valor de la classificació típica.

Materials de la Zona no Saturada		
Rang	Classificació	C. Típica
Capa confinada	1	1
Llims/Argila	2-6	3
Pissarra	2-5	3
Calcària	2-7	6
Gres	4-8	6
Calcària estratificada, gres i pissarra	4-8	6
Sorra i grava amb argila i lims	4-8	6
Metamòrfic/Igni	2-8	4
Sorra i grava	6-9	8
Basalt	2-10	9
Calcària càrstica	8-10	10

Taula 8: Rangs de la litologia de la zona no saturada
Font: Aller, 1987



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura: 13	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu Onyar			
MAPA DE LITOLOGIES DE LA ZONA NO SATURADA			

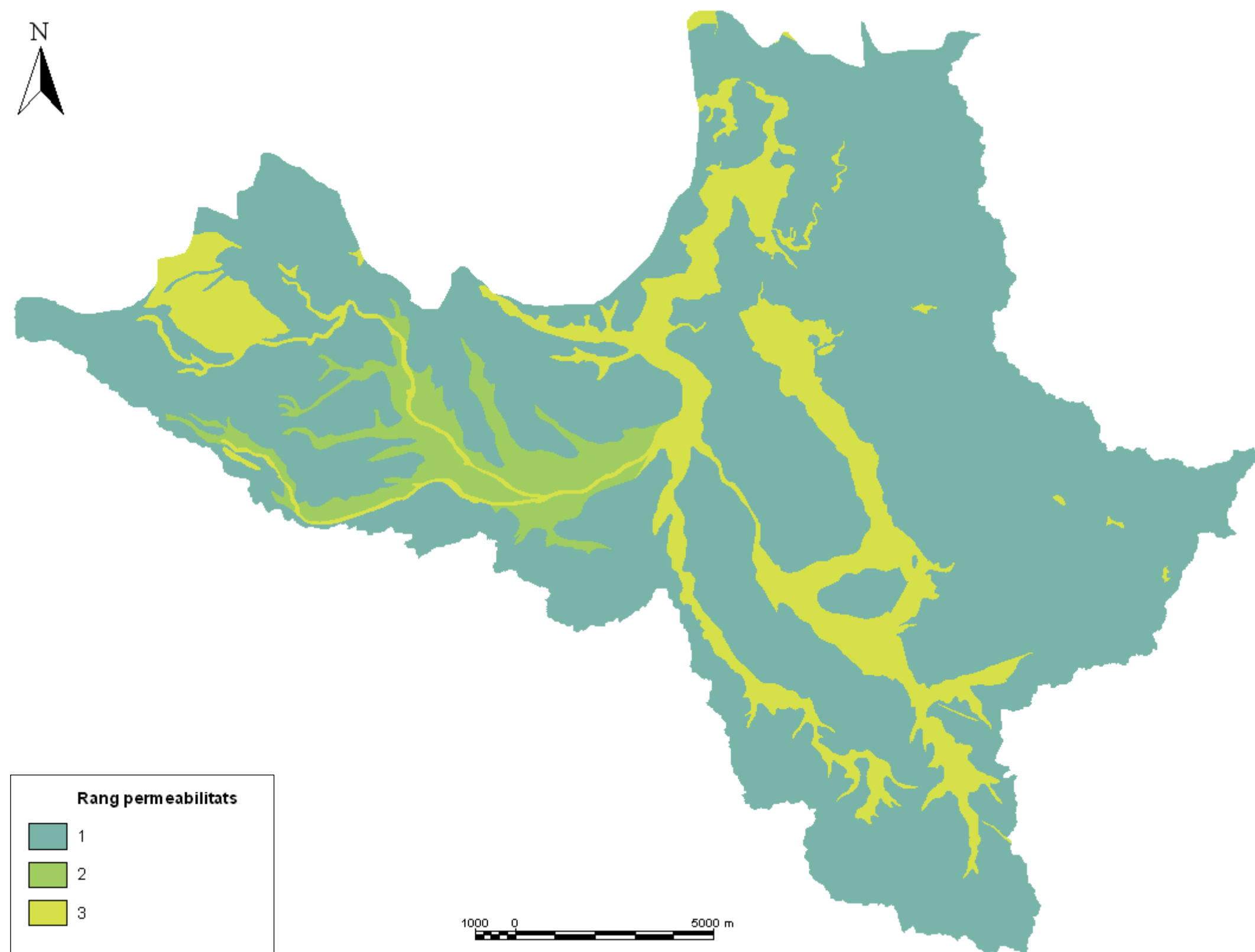
5.7 Mapa de permeabilitats de la zona saturada

La permeabilitat de la zona saturada ens dona informació sobre la capacitat que té el medi de l'aquífer de permetre el flux d'un fluid al seu interior. La metodologia DRASTIC assumeix que el contaminant té la mateixa mobilitat que l'aigua, per tant, en aquest cas s'han pogut utilitzar dades relatives a la permeabilitat dels materials que conformen l'aquífer, respecte l'aigua.

Les dades per realitzar aquest mapa provenen principalment dels valors de permeabilitat extrets de la base de dades de l'Instituto Geologico i Minero de España, IGME. Posteriorment s'ha completat amb valors de permeabilitat de les diferents formacions geològiques a partir de la *Realització d'un model numèric del flux d'aigua associat a la Riera de Santa Coloma (ACA, 2009)*. Tan la conca de l'Onyar, com la de Santa Coloma formen part de la depressió de la Selva i presenten característiques geològiques i hidrogeològiques similars. Aquests valors de permeabilitat s'han assignat a les diverses litologies que conformen aquífer i posteriorment se'ls hi ha donat el valor de la classificació DRASTIC de la taula següent.

Permeabilitat (m/dia)	
Rang	Classificació
0 - 4	1
4 - 12	2
12 - 28	4
28 - 40	6
40 - 81	8
> 81	10

Taula 9: Rangs permeabilitat de la zona saturada
Font: Aller, 1987



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura: 14	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu Onyar			
MAPA PERMEABILITATS			

5.8 Mapa de vulnerabilitat

El mapa de vulnerabilitat no és una representació quantitativa, sinó qualitativa i adimensional d'una àrea concreta. La metodologia DRASTIC representa la vulnerabilitat mitjançant tres rangs.

Vulnerabilitat	
Rang	Classificació
23 - 119	baixa
120 - 179	moderada
180 - 226	alta

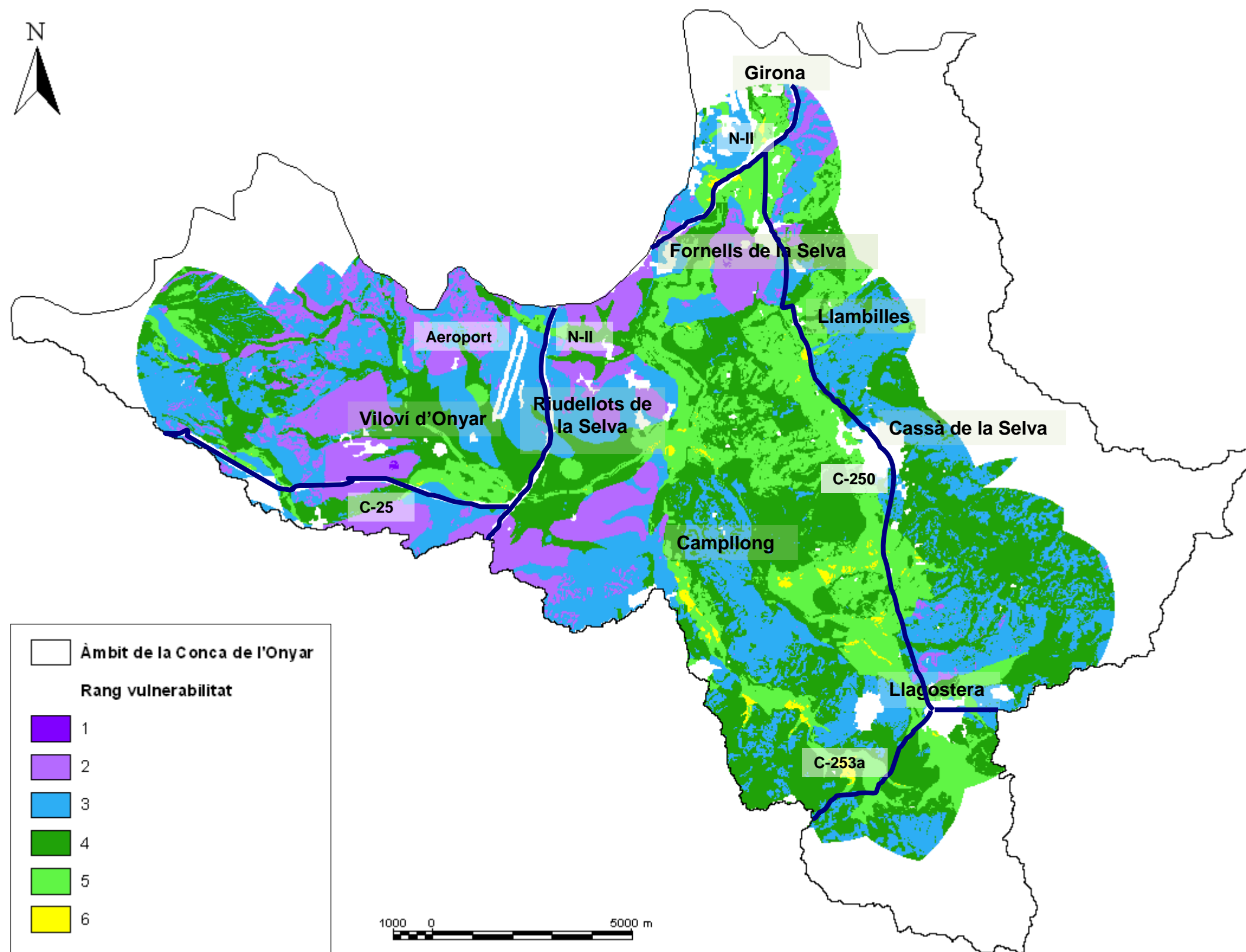
Taula 10: Rangs de vulnerabilitat
Font: Aller, et.al. (1987)

El mapa de vulnerabilitat indica que en general, el potencial per contaminar les aigües subterrànies és baix o moderat. Aproximadament un 45% de l'àrea analitzada presenta baixa vulnerabilitat i el 55% restant moderada vulnerabilitat.

Llista de freqüències i percentatges				
Rang	Cel·les ocupades	km ²	(%)	Vulnerabilitat
1-> (23 - 79)	331	0.07	0.04	baixa
2-> (80 - 99)	123534	27.80	13.37	baixa
3-> (100 - 119)	291346	65.55	31.54	baixa
4-> (120 - 139)	328997	74.02	35.61	moderada
5-> (140 - 159)	173210	38.97	18.75	moderada
6-> (160 - 179)	6445	1.45	0.70	moderada
7-> (180 - 199)	0	0	0	alta
8-> (200 - 226)	0	0	0	alta
Àrea total	923863	207.87	100	

Taula 11: Freqüències i percentatges
Font: Elaboració pròpia

Cap de les cel·les ocupades presenta vulnerabilitat alta, és a dir, totes les cel·les estan compreses en un rang de 23 a 180 (Taula 11). A partir de l'absència de valors elevats no podem extreure que la conca sigui poc vulnerable a la contaminació. Per fer aquesta afirmació cal entrar a analitzar els resultats amb més detall. Recordem que els resultats són relatius a cada conca i normalment no són comparables entre diferents conques.



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura: 15	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu Onyar			
MAPA DE VULNERABILITAT			

La zona situada al NO de la conca, que va des de l'extrem més elevat fins a trobar-se amb la N-II, és de les que presenta una vulnerabilitat més baixa. A l'altra banda de la N-II, aquesta tendència continua uns 3 Km aproximadament fins arribar a Riudellots de la Selva. Tot i ser la part menys vulnerable de la conca, presenta zones amb vulnerabilitat moderada. Una d'aquestes zones amb vulnerabilitat moderada correspon als aquífers al·luvials del Quaternari. Una segona zona amb vulnerabilitat moderada a l'extrem NO, correspon a una zona més elevada i de fort pendent, però que presenta un recàrrega elevada (de 180 a més de 250) mm.

La zona d'aquífers al·luvials anteriorment descrita connecta amb una alta zona de vulnerabilitat moderada més extensa. L'àrea d'aquesta zona és la que resulta de traçar una línia circular que parteix de Fornells de la Selva i va direcció NE passant per Lambilles fins a Cassà de la Selva, d'aquí continuar direcció S fins a Llagostera i torna direcció N cap a Fornells passant per Campllong. Aquesta zona queda al costat esquerra de la C-250 i ocupa una extensió de 30 Km² de vulnerabilitat moderada.

La zona que queda al costat dret de la C-250, la més propera a les Gavarres compagina zones de vulnerabilitat baixa amb zones de vulnerabilitat moderada, però sense valors extrems. Aquesta tendència continua direcció N cap a Girona i direcció S cap a Llagostera.

La zona que queda a l'extrem S, compresa entre Llagostera i fins al límit de l'àrea d'estudi, presenta majoritàriament vulnerabilitat moderada amb alguna petita zona de vulnerabilitat baixa. En canvi a l'extrem N es poden diferenciar dues zones: una de vulnerabilitat baixa, propera a Riudellots de la Selva; i l'altra menys homogènia amb ambdues vulnerabilitats, propera Girona.

La vulnerabilitat més elevada (rang 6, 160-179) queda restringida a petites àrees puntuals dispersades i sempre rodejades d'àrees més o menys extenses de vulnerabilitat moderada.

5.9 Validació del mapa de vulnerabilitat

Els mapes de vulnerabilitat han de ser validats amb mapes o estudis complementaris. En aquest cas es va realitzar una campanya de camp al mes de maig per analitzar les concentracions de nitrats de diferents pous superficials dins l'àmbit d'estudi. Es van analitzar un total de 30 mostres d'aigua d'aqüífers superficials. Per tal d'augmentar el nombre de dades i que aquestes fossin quantitativament i espacialment representatives, es va utilitzar dades de 21 pous de l'*Estudi de la contaminació per compostos nitrogenats en el context riu – aqüífer* realitzat per David López (2011). El 72% dels anàlisis van donar com a resultat una concentració de nitrats inferior o igual a 50mg/l, concentracions que és troben dins del marc legal comunitari en política d'aigües, Directiva Marc de l'Aigua (Directiva 200/60/CE del 23 d'octubre de 2000).

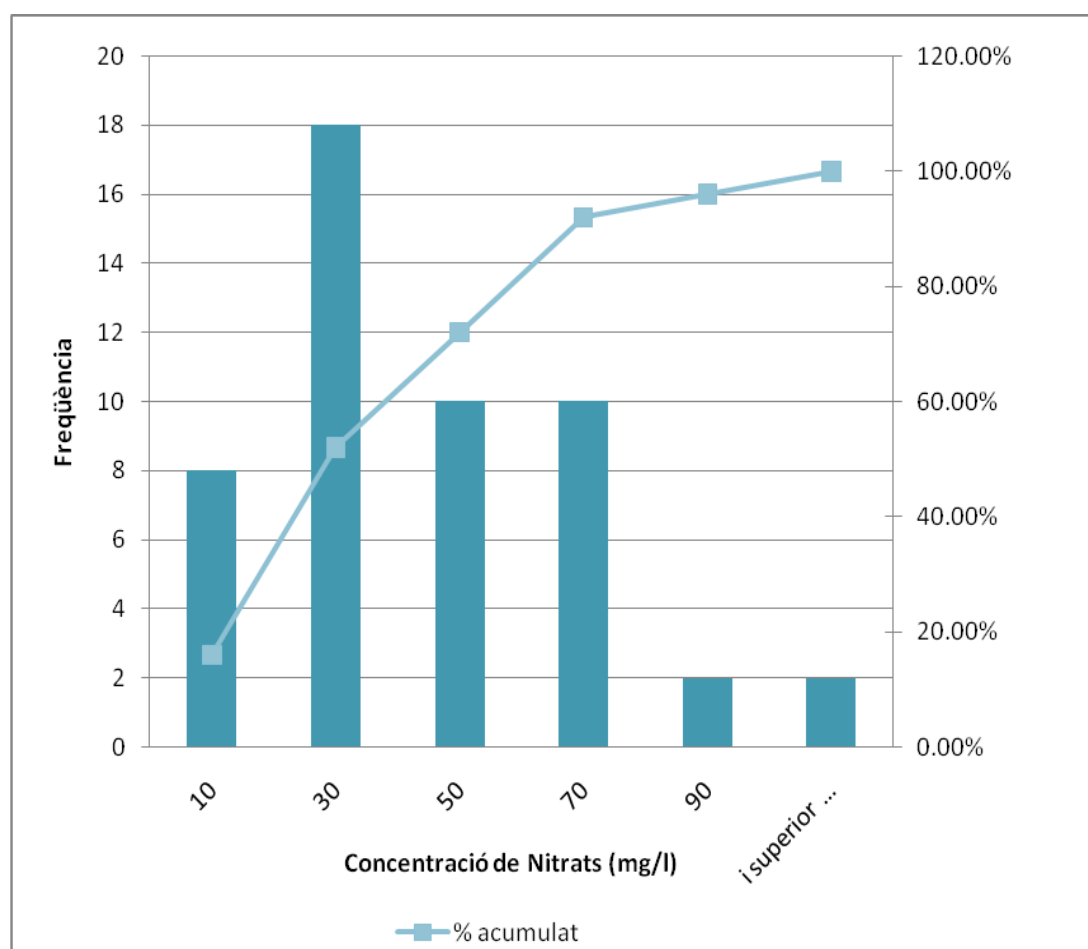


Fig. 16: Freqüència i percentatge acumulat de la concentració de Nitrats
Font: Elaboració pròpia

Els resultats d'estudis de campanyes anteriors realitzats a la conca de l'Onyar presenten resultats amb valors molt més elevats. Una campanya realitzada el desembre de 2003 donava com a resultat una contaminació superior als 50 mg/l en el 75% dels pous, tenint en compte només els nivells aquífers més superficials. Si també es tenen en compte els nivells profunds el percentatge disminuïa fins a un 60%. (Menció A i Mas-Pla J, 2004).

La representació de les dades s'ha realitzat mitjançant la interpolació de les concentracions de nitrats dels diferents punts. La distància màxima que s'ha utilitzat com a criteri de selecció dels punts és de 3000m, agafant els 5 punts més propers, sent tres el mínim per realitzar el càlcul (Fig. 17).

Comparant a primer cop d'ull el mapa de vulnerabilitat i el de concentracions veiem que a moltes zones de l'àrea d'estudi les zones amb una vulnerabilitat baixa corresponen a zones amb una baixa concentració de nitrats i viceversa. Però per poder fer una correcta interpretació del mapa de concentracions i poder establir si hi ha relació o no amb el mapa de vulnerabilitat, cal utilitzar eines que indiquin el risc d'una zona a patir un accident de contaminació.

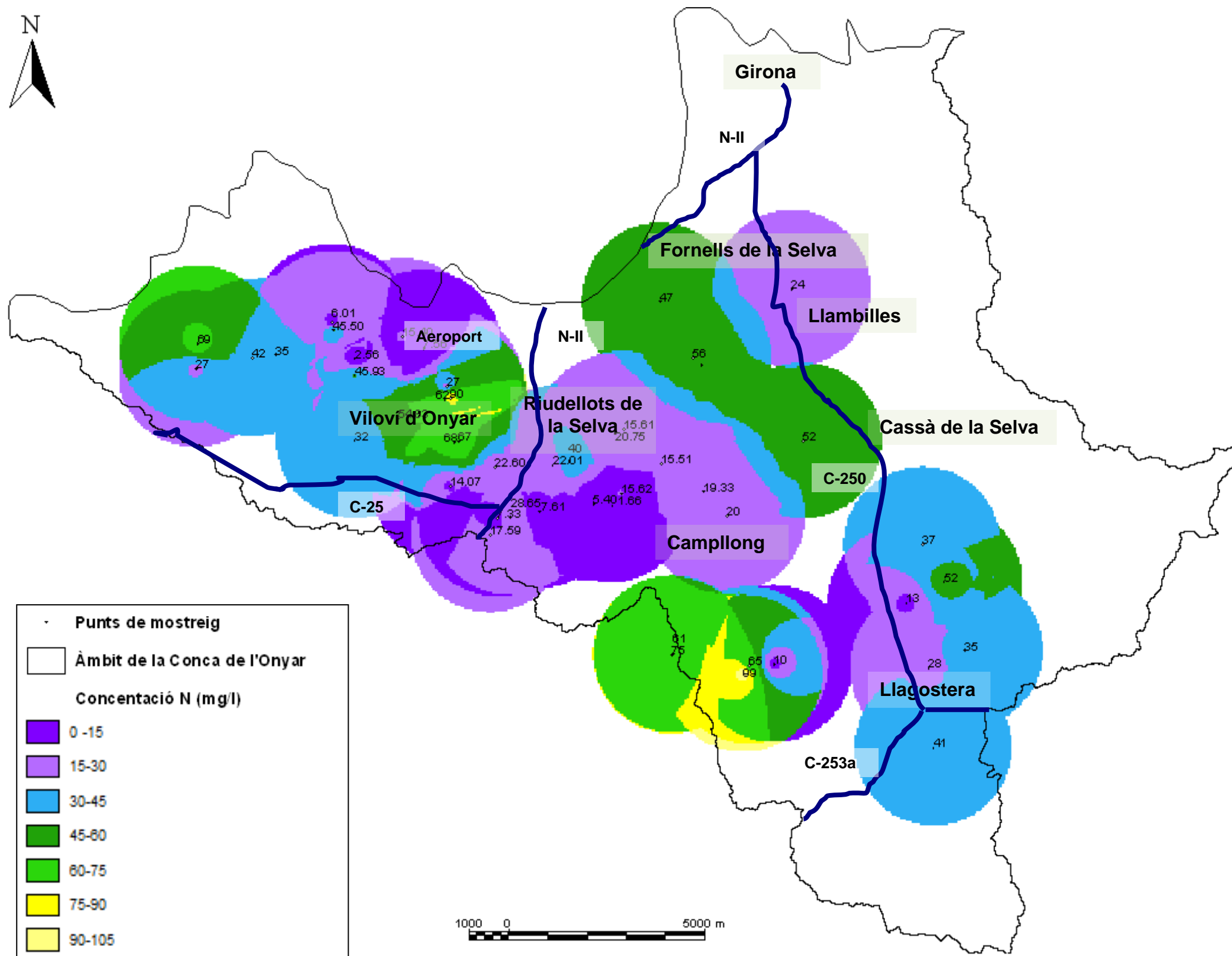
La vulnerabilitat informa de les característiques del medi, però per entendre millor el mapa de concentracions necessitem calcular el risc de contaminació. El risc de contaminació es defineix com la superposició del perill d'ocurrència d'un accident donat (anàlisi del perill) i de la sensibilitat del medi front la corresponent contaminació (anàlisi de la vulnerabilitat). Per tant, necessitem conèixer altres factors a part dels intrínsecs del medi, que ens permetin calcular aquest perill. Es tracta sobretot de factors socioeconòmics (activitats econòmiques, distribució de població, etc.) ja que són els que exerceixen una pressió més forta sobre el medi. Aquests factors condicionen la naturalesa del contaminat, la localització espacial del focus de contaminació i la freqüència i/o estacionalitat dels episodis.

Es donen casos on les característiques del medi, propicien els assentaments humans i/o el desenvolupament d'activitats econòmiques (més perill), però al

mateix temps són les zones més vulnerables. Un exemple són els assentaments humans i les activitats hortícoles a la vora dels rius, afectant així, l'aquífer al·luvial. Fixem-nos que en aquest cas podrien sorgir problemes provinents de la sobreexplotació, per l'extracció d'aigua per reg i/o de la contaminació, per l'aplicació de fertilitzants.

Una eina que ens dóna informació més o menys detallada de gairebé totes les fonts és el mapa d'usos del sòl. En aquest cas s'ha utilitzat el mapa d'usos del sòl de Catalunya de l'any 1997 (www.creaf.uab.es)

En una primera fase es va analitzar quin era l'ús del sòl i el rang de vulnerabilitat en el punt concret on es troba cada pou. Els resultats indiquen que un 70% dels pous d'on es van extreure les mostres es troben a la vora o a l'interior de camps de conreu herbacis de secà, un 14% en camps herbacis de regadiu, un 8% en bosc, un 6% en zones urbanes i el 2% restant en camps de fruiters de secà. A escala local, és a dir, analitzant la cel·la que ocupa el pou (15m x 15m) els resultats no estableixen cap relació entre el grau de vulnerabilitat d'una zona, la contaminació real i l'ús del sòl que s'hi aplica (Fig.18).



Data: Abril 2011	Autor: Sandra Armengol Vall	Figura: 17	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca del riu l'Onyar			
MAPA DE CONCENTRACIÓ DE NITRATS			

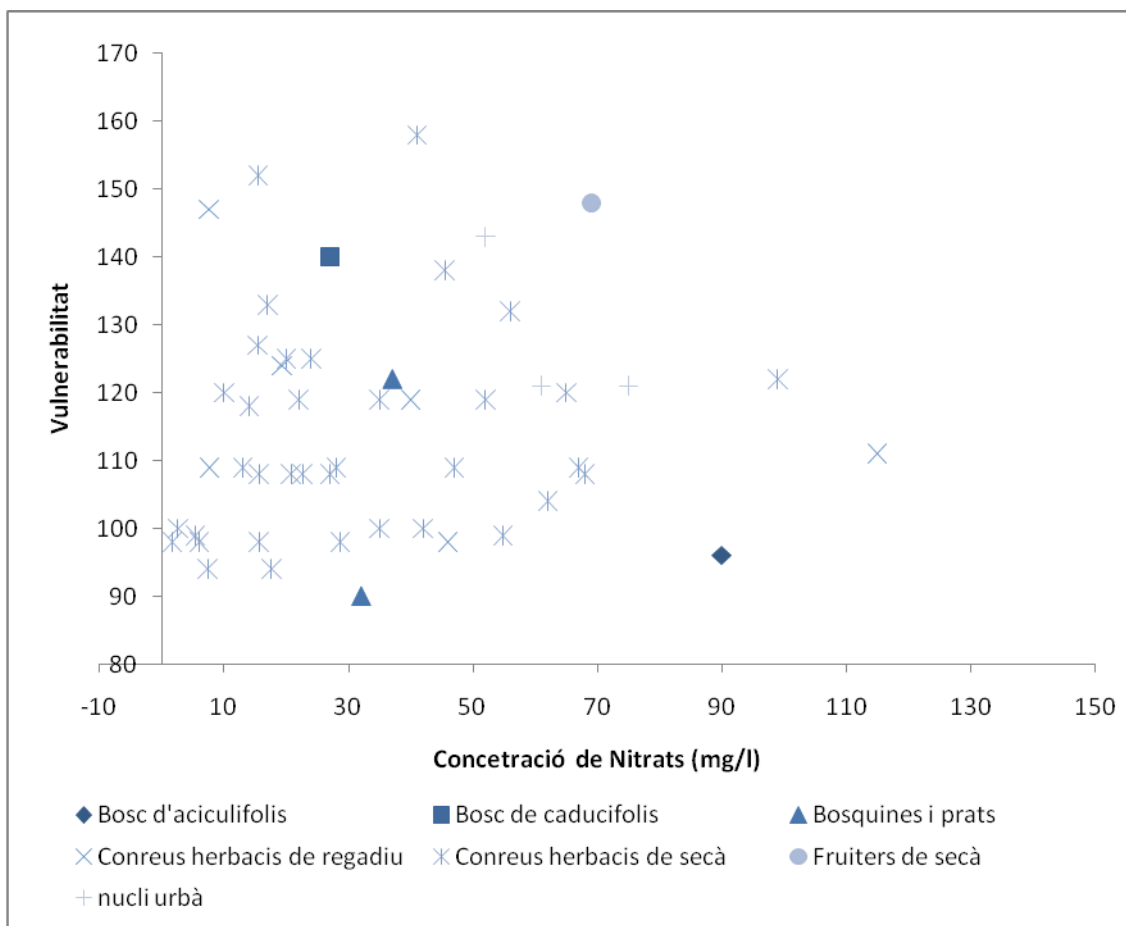


Fig. 18 Relació entre concentració. Vulnerabilitat i ús del sòl.

Font: Elaboració pròpia

La desigualtat de percentatges, essent els conreus herbacis de secà l'ús del sòl dominant en detriment dels altres, dificulta l'establiment de correlacions entre l'ús del sòl d'una zona i el seu grau de contaminació. A part, com s'explicarà més endavant, l'escala a la que s'analitzen els resultats té una importància determinat per entendre'ls.

En un segon estadi és va agafar com a unitat d'estudi els usos del sòl, simplificant el mapa original a quatre categories: conreus herbacis de secà, conreus herbacis de regadiu, fruiters de secà, fruiters de regadiu i bosc. (Fig. 19).

De l'anàlisi conjunt del mapa de vulnerabilitat, el mapa de concentració de nitrats i el d'usos del sòl s'extreu que les zones amb conreus herbacis de secà i fruiters de secà no estan relacionades amb les zones amb una major

concentració de nitrats, tot i que en molt casos estan ubicades en zones d'alta vulnerabilitat.

En canvi en certs casos s'observa que les zones de regadiu amb major vulnerabilitat són les que presenten les concentracions més altes de nitrats. De forma oposada també s'aprecia que els conreus herbacis regadiu i fruiters de regadiu que es troben en una situació de baixa vulnerabilitat també gaudeixen de baixa concentració de nitrats. Per tant, es pot apreciar que tot i que el mapes de vulnerabilitat presenten certes deficiències, si que poden indicar amb una fiabilitat relativa les zones amb les vulnerabilitats més altes i més baixes.

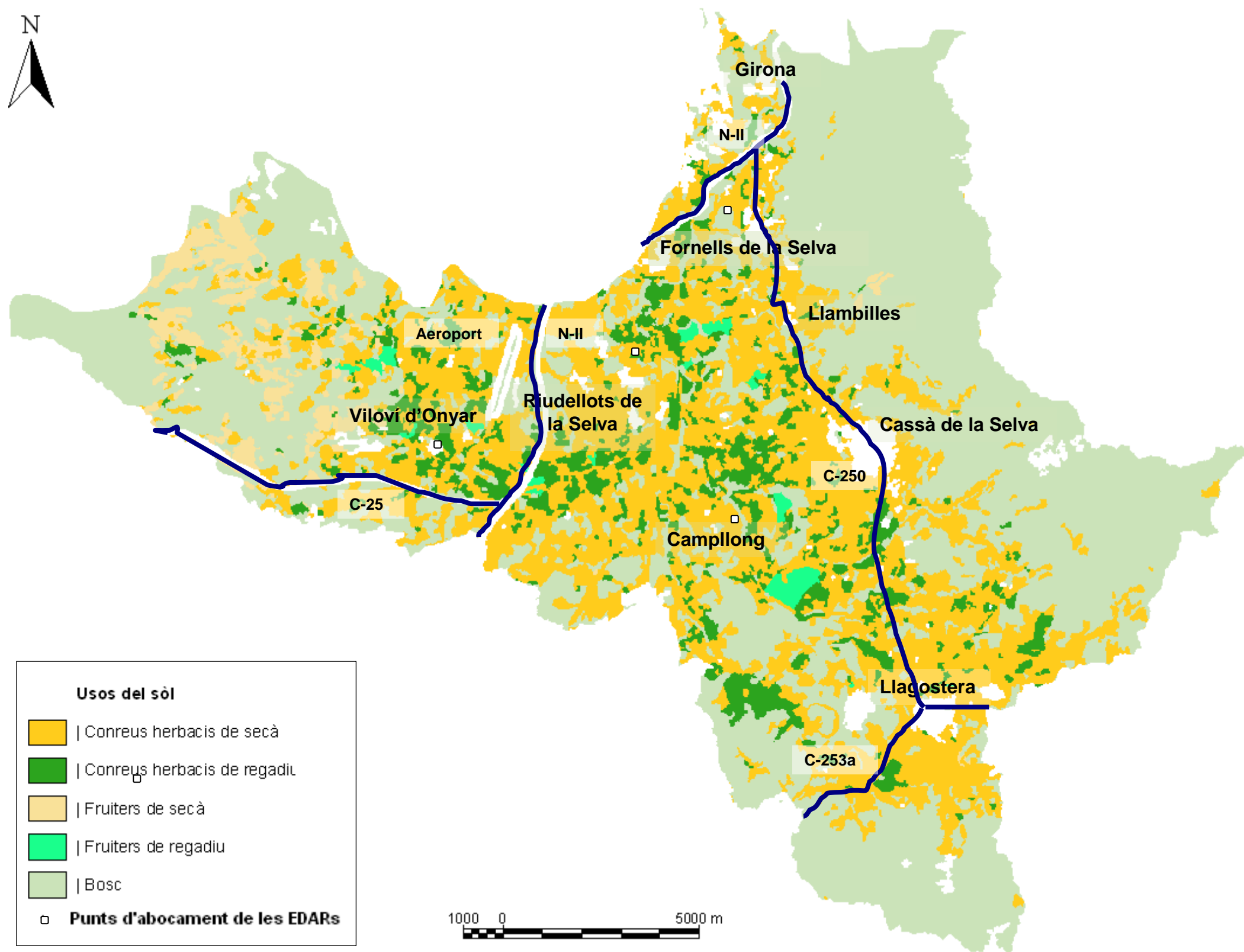
La interpolació dels punts de mostreig no diferencia entre aqüífers del Neògen o bé aqüífers al·luvials, per tant, tot i ser formacions diferents s'analitzen les dades d'una manera contínua. Tot i així, s'aprecia que en algunes zones, les concentracions de nitrats no es distribueixen de forma equidistant sinó que van més lligades a la formació geològica en la que s'ubiquen. Això fa que algunes zones, s'extrapolen les concentracions de nitrats d'una formació a una altra poden donar lloc a errors d'interpretació ja que la connectivitat hidràulica no sempre és efectiva entre les diferents formacions.

El focus de concentració més important del mapa de nitrats, situat prop de Viloví d'Onyar podria ser conseqüència de l'abocament d'aigües residuals de la depuradora del poble.

Resultats obtinguts en estudis anteriors mostren que els punts situats després de l'abocament de depuradores, no presenten una bona qualitat físico-química de l'aigua. En alguns casos els volums d'aigua abocats per les depuradores superen i de llarg, la capacitat de dilució dels rius que reben les seves aigües. D'altra banda, l'Onyar en el seu tram mig, pateix un descens artificial del nivell piezomètric conduint a un canvi en la relació riu-aqüífer, i fent que el riu passi a ser influent. Quan això succeeix, l'aqüífer rep aportacions d'aigua del riu, i s'asseca des d'un quilòmetre aigües avall de Vilobí d'Onyar fins a l'alçada de Riudellots de la Selva (on rep les aigües d'altres afluents importants com la

Gotarra, i altres afluents procedents de les Gavarres i el Massís de la Selva Marítima (Menció A, Mas-Pla J, 2004).

Degut a aquesta dinàmica, és possible que algun dels trams de l'aqüífer proper a les depuradores i al riu presentin concentracions més altes de nitrats (Fig. 17 i 19).



Data: Abril 2011	Autor simplificació: Sandra Armengol Vall	Figura: 19	Escala: 1/10000
Anàlisi multidisciplinària de la vulnerabilitat a la Conca de l'Onyar			
MAPA D'USOS DEL SÒL (simplificat)			

6. Conclusions

Després de realitzar l'estudi de la vulnerabilitat de la conca de l'Onyar, a partir dels resultats obtinguts es poden extreure les següents conclusions:

La metodologia DRASTIC basada en paràmetres hidrogeològics dóna bons resultats quan s'analitza la vulnerabilitat a nivell de conca.

- La senzillesa de la metodologia la fa ser una eina pràctica per tenir una idea general de la vulnerabilitat, però sovint els rangs o categories dels factors hidrogeològics són poc específics i no permeten un anàlisi més detallat.
- La manca de dades sobre alguns dels paràmetres força a establir relacions i/o fer extrapolacions que resten qualitat al resultat final, tot i així, els resultats obtinguts en molts casos es compleixen a la realitat.
- Les zones on no es compleix la vulnerabilitat podrien estar afectades per les limitacions de la interpolació. És a dir, no tenen en compte el salt de formació geològica. Com s'ha vist, les formacions geològiques juguen un paper molt important en la caracterització de la vulnerabilitat.
- Els mapes de vulnerabilitat han de ser validats per altres estudis o eines que permetin identificar les possibles fonts de contaminació, per poder identificar finalment el risc real de contaminació.
- El mapa d'usos del sòl i la localització d'abocaments residuals inventariats, com ara les depuradores, són eines útils i de fàcil abast que ens aporten la informació per a la validació dels mapes de vulnerabilitat.
- Les zones amb conreus de secà, tot i ser possibles zones d'entrada de contaminants, no són tan significants com els conreus de regadiu. Segurament es deu a que els conreus de secà no necessiten d'un aport

extra d'aigua per reg i per tant el factor recàrrega és inferior, limitant l'entrada de nitrogen al subsòl

- Per aquest cas d'estudi, el mapa de vulnerabilitat ens indica les zones menys vulnerables independentment dels usos del sòl. De la mateixa forma, tenint en consideració les zones de vulnerabilitat més elevada, el mapa de vulnerabilitat ens pot indicar en alguns casos les zones de major risc de contaminació tenint en compte el mapa dels usos del sòl. Les limitacions en la quantitat i distribució de dades podrien ser la causa de que les zones amb conreu de regadiu i vulnerabilitat més elevada que la resta, no presentin concentracions més altres de nitrats.

7. Propostes de millora

Per millorar la metodologia DRASTIC es proposa acotar més minuciosament el rang d'alguns paràmetres com la permeabilitat en el cas de la conca de l'Onyar, per tal d'obtenir uns resultats que s'aproximin encara més a la realitat.

Per millorar la interpretació dels resultats del mapa de concentracions es proposa:

- Interpol·lar separatament els pous segons la litologia, sent el límit d'influència l'àrea les diferents formacions geològiques. És a dir, que les dades d'una formació geològica només representin l'àrea que ocupa aquesta .
- Utilitzar criteris d'interpolació que siguin representatius com per exemple, acotant un radi de contaminació potencial per a cada pou.
- Utilitzar informació sobre la direcció del flux subterrani per delimitar l'àrea que potencialment pot ser contaminada per una ocupació del sòl determinada.
- Utilitzar informació sobre la relació riu-aqüífer per determinar la vulnerabilitat d'aqüífers al·luvials, ja que sovint són els més vulnerables i els que estan explotats més intensivament.

8. Camps de recerca en el futur.

- Analitzar les conseqüències en els resultats de la doble valoració d'alguns paràmetres com ara la recàrrega, que al mateix temps que afavoreix el transport del contaminat de la zona no saturada fins l'aqüífer, l'està diluint.
- Analitzar la relació existent entre dos o més factors hidrogeològic utilitzats en DRASTIC com ara, els materials que conformen l'aqüífer i la permeabilitat d'aquests materials. I estudiar quina es la seva influència en els resultats.
- Estudiar la vulnerabilitat dels nivell d'aqüífer més profunds i les relacions que s'estableixen amb els nivell més superficials, si és que es produeixen.
- Estudiar la vulnerabilitat tant en època seca com en època humida, els factors que tenen més pes en cada època i la diferència entre èpoques.
- Recopilar informació sobre la localització de les granges i la seves característiques (número d'animals, disponibilitat de dipòsit per a purins, mesures de gestió dels purins, etc.) per tal de poder-les situar sobre el mapa de concentracions i estudiar si són un factor a tenir en compte per la validació dels mapes de vulnerabilitat.
- Recopilar informació sobre resultats d'analítiques de concentració de nitrats realitzades a la conca de l'Onyar, per tal d'augmentar el nombre de mostres i poder elaborar un mapa de concentracions que cobreixi una part més intensa i extensa de la conca.

9. Bibliografia

ALBINET M, MARGAT J. (1970). "Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine". *Butlletí del Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)*, 2a sèrie 3(4), p. 13–22.

ALLER L, BENNETT T, LEHR JH, PETY RH, HACKETT G, (1987). "DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings". *ACS Symposium*, US EPA Report 600/2–87/035, p. 622.

AUGE M, (2004). "Vulnerabilidad de Acuiferos". *Revista Latino-Americana de Hidrogeologia*, 4, p. 85-103.

CANTER L, (1997). *Nitrates in groundwater*. Estats Units, Ed: Lewis Publishers.

CARBONELL A, (1993). "Groundwater vulnerability assessment: predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty". *National Research Council. National Academy Press*, p. 204.

COMISSIÓ EUROPEA, (2000). "Aplicación de la Directiva 91/676/CEE del Consejo relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura". Síntesis de los informes de los Estados miembros del año 2000, Dirección General de Medio Ambiente.

CUSTODIO E. (1995). "Consideraciones sobre el concepto de vulnerabilidad de los acuíferos a la polución". II Seminario Hispano – Argentino sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. San Miguel de Tucumán (Argentina).

CIVITA M, (1990). *Legenda unificata per le Carte della vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei*. Italia, Ed: Pitagora

DOERFLIGER N i ZWAHLEN F, (1997). "EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment". *Karst Waters and Environ Impacts*, p. 117-123.

DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA, (2000). "Manual del codi de bones pràctiques agràries: nitrogen". Direcció General de Producció Agrària I Innovació Rural

DIARI OFICIAL DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA (DOGC), (1998). Núm. 2760. DECRET 283/1998, de 21 d'octubre, de designació de les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries.

DIARI OFICIAL DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA (DOGC), (2004). Núm. 4292. DECRET 476/2004, de 28 de desembre, pel qual es designen noves zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries.

DIARI OFICIAL DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA (DOGC), (2000). Núm. 3168. DECRET 205/2000, de 13 de juny, d'aprovació del programa de mesures agronòmiques aplicables a les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries.

FOLCH A, (2010). "Geological and human influences on groundwater flow systems in range-and-basin areas: the case of t he Selva Basin". Tesis Doctoral, Universitat Auntonoma de Barcelona.

FOSTER, S. (1987). "Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy". *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*, 38, p. 69–86.

GARCIA L, (1997). "Algunos aspectos relevantes en proyectos de información geográfica". Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN), Madrid (Espanya).

LANDREAU A, (1996).” Contribution à une normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions des eaux souterraines”.*Butlletí del Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)*, R38846, p. 38.

LÓPEZ, D (2011). “Estudi de la contaminació per compostos nitrogenats en el context riu – aqüífer “. Tesina de Màster, Universitat de Girona.

MAS-PLA J.(ed). La Directiva Marc de l'Aigua a Catalunya: conceptes, reptes i expectatives en la gestió dels recursos hídrics. Generalitat de Catalunya.

MENCIÓ A i MAS-PLA J, (2004a). L'estat hidrològic i ecològic dels ecosistemes fluvials de la depressió de la Selva (Girona). Estudi presentat al IV Congrés Ibèric i Planificació de l'Aigua. p. 10.

MENCIÓ A i MAS-PLA J, (2004b). Anàlisi de la distribució dels compostos nitrogenats em el medi hidrològic de la conca del riu Onyar (Gironès).Estudi presentat al IV Congrés Ibèric i Planificació de l'Aigua. p. 10.

MENCIÓ A, (2005). “Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva.” Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.

OLMER M i REZÀC B, (1974). ”Methodical principles of maps for protection of groundwater in Bohemia and Moravia, scale 1:200.000”. *International Association of Hydrogeologists(IAH)*, X, p. 105-107.

PEÑA S, (2009). “A hydro-economic modeling framework for optimal management of groundwater nitrate pollution from agriculture”. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València.

ROSEN L, (1994). “A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions”. *Ground Water*, 32 p. 278 – 285.

VRBA J, ZAPOROZEC A, (1994). "Guidebook on mapping groundwater vulnerability". *International Association of Hydrogeologists (IAH)* 16, p. 1-131.

VRBA J, (1998). "Vulnerabilidad, protección y gestión de la calidad de las aguas subterráneas". Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: Un problema pendiente". Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Grupo Español (AIH-GE).

Recursos informàtics:

Generalitat de Catalunya

[www.gencat.cat]

Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestal

[www.creat.uab.cat]

Natural Resources Canada

[www.geoscape.nrcan.gc.ca]

10. Acrònims i paraules clau

ACA: Agència Catalana de l'Aigua.

Aqüífer al·luvial: Aqüífer format a l'àrea sedimentària d'un riu i amb qui acostuma a estar relacionat.

.

Digitalització: Representació en format digital de la realitat, els softwares utilitzats són del tipus SIG.

Interpolació: obtenció de valors per a nous punts, partint del coneixement d'un grup discret de punts mitjançant l'anàlisi matemàtic.

UTM: Sistema de Coordenades Universal Transversal de Marcador estructurat a través de fusos i zones.

MDE: Model Digital d'Elevacions

Nivell freàtic: Nivell on trobem l'aigua subterrànies que es troba entre les toques granulars o fisurades.

Nivell piezomètric: Si es tracta d'un aqüífer lliure és el mateix que el nivell freàtic. En aqüífers confinats és el nivell on arribaria l'aigua al desprendre's de la pressió a la qual està sotmesa.

UTM: Sistema de Coordenades Universal Transversal de Mercator estructurat a través de fusos i zones.

Zones humides: Són ecosistemes de transició entre els aquàtics i els terrestres. Poden estar coberts per aigües somes o bé tenir el nivell freàtic arran de terra o a pocs centímetres de profunditat.

11. Pressupost

Recursos humans	Concepte	Hores	Preu (€)/hora	Total (€)
	Recerca documental	80	10	800
	Treball de camp	63	14	882
	Treball de gabinet	160	13	2080
	Total (€)			3762

Taula 12: Pressupost per RRHH amb IVA% inclòs.

Sortides de camp	Concepte	Preu	Unitat/dia	dies	Total (€)
	Combustible	0.19€/Km	200 km	7	266
	Peatge	4	2	7	56
	Dietes	9	1	7	63
	Total (€)				385

Taula 13: Pressupost per les sortides de camp amb IVA% inclòs.

Analítiques camp/laboratori/gabinet	Concepte/Amortització	Unitat	Preu(€)	Total(€)
	Conductímetre	1	30	30
	Ph-metre	1	40	40
	Sonda	1	10	10
	Filtre	30	1	30
	Xeringa	2	5	10
	Tub d'assaig	20	0,3	6
	Pipeta	2	0,6	1,2
	Espectrofotòmetre de camp	1	40	40
	Kit	1	15	15
	Software Miramon	1	228	228
	Total(€)			410,2

Taula 14: Pressupost per analítiques amb IVA% inclòs.

Material fungible	Concepte	Unitat	Preu(€)	Total(€)
	Paquets de fulls	2	4	8
	Tinta d'impressió	2	20	40
	Impressió del treball	4	10	40
	Format digital del treball (CD)	4	0,2	0,8
	Enquadernació	4	2	8
	Total (€)			96,8

Taula 15: Pressupost pel material fungible amb IVA% inclòs.

Cost total	Concepte	Preu(€)
	Recursos humans	3762
	Sortides de camp	385
	Analítiques	410,2
	Material fungible	96,8
	Total (€)	4654

Taula 16: Pressupost total amb IVA% inclòs.

12. Calendari

A continuació es presenta la programació de les activitats realitzades durant l'estudi. Les activitats s'especifiquen mitjançant una taula indicant el temps de realització dividit per setmanes.

 Realització de l'activitat

 Període de vacances

	Novembre 2010				Desembre 2010				Gener 2010				Febrer 2010				Març 2010				Abril 2010				Maig 2010				Juny 2010				Juliol 2010	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Reunions amb el tutor																																		
Plantejament del projecte																																		
Recerca bibliogràfica de la zona d'estudi																																		
Recerca bibliogràfica de la metodologia																																		
Recerca de mapes digitals																																		
Recerca de dades per l'elaboració dels mapes																																		
Elaboració de mapes DRASTIC																																		
Preparació de campanya de mostreig																																		
Campanya de mostreig																																		
Anàlisi de les mostres																																		
Elaboració del mapa de concentracions																																		
Redacció de la memòria																																		
Entrega del projecte																																		
Preparació de la defensa																																		
Defensa del projecte																																		

Taula 17: Calendari

ANNEX I

En l'apartat d'Annex s'explica d'una manera detallada els passos que s'han seguit per arribar a crear els diferents mapes DRASTIC del projecte. La finalitat d'aquesta explicació és la de servir com a referència, en cas de voler aplicar la metodologia en altres zones. El software utilitzat és el Miramon i tots els mapes estan representats amb la projecció UTM i sistema de referència oficial ED50.

Mapa de litologies de la zona no saturada *(info. Temàtica)*

El mapa de litologies dóna informació sobre els materials que afloren a la conca i li atorguen les característiques principals. En el cas del mètode DRASTIC, aquests materials controlen el temps existent per l'atenuació del contaminant i la quantitat de contaminant que arriba a l'aqüífer.

Una manera d'obtenir la informació necessària per elaborar un mapa digital de litologies es descarregant els mapes geològics de la web de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. En el cas de la conca que s'ha escollit per a fer aquest estudi, calen tres mapes de la Base Cartogràfica escala 1 : 50 000 per englobar la totalitat de la seva superfície.

La descompressió dels mapes es fa a través del MiraMón (Fig.1).

➤ *Fitxer / Mapes MiraMón d'Internet...*

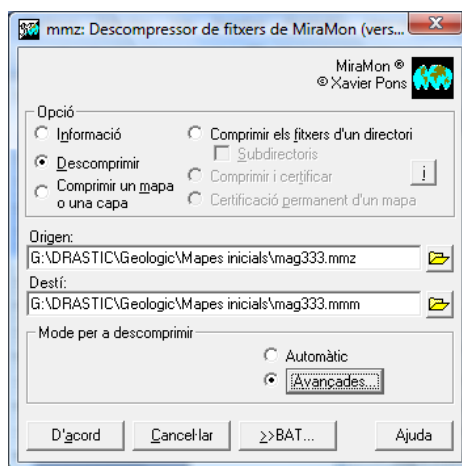


Fig. 1 Descompressor de fitxers MiraMón

Un cop descomprimits, es guarden tots els mapes en un mateix directori. Les carpetes Tesaures i PalSimb contenen informació sobre la relació entre taules (Tesauros) i les paletes corresponent a cada capa (PalSimb). Aquestes carpetes són comunes a tots els mapes, per tant, mantenim una al directori on guardem els mapes i eliminem la resta.

Els fitxers dels mapes que necessitem són els que contenen els arcs i polígons que separen les diferents litologies (Litologia.ARC, Litologia.POL).

A partir del model digital d'elevació del terreny (MDE), hem creat un fitxer amb els límits de la conca (conca.arc) mitjançant l'aplicació "spatial analysis plus" del software ARCGIS. Aquest fitxer serà la base del mapa i ens serà útil en operacions en mapes posteriors.

En una finestra de Miramón hem obert l'arxiu anterior i els fitxers (ARC) i (POL) dels tres mapes. (Fig.2)

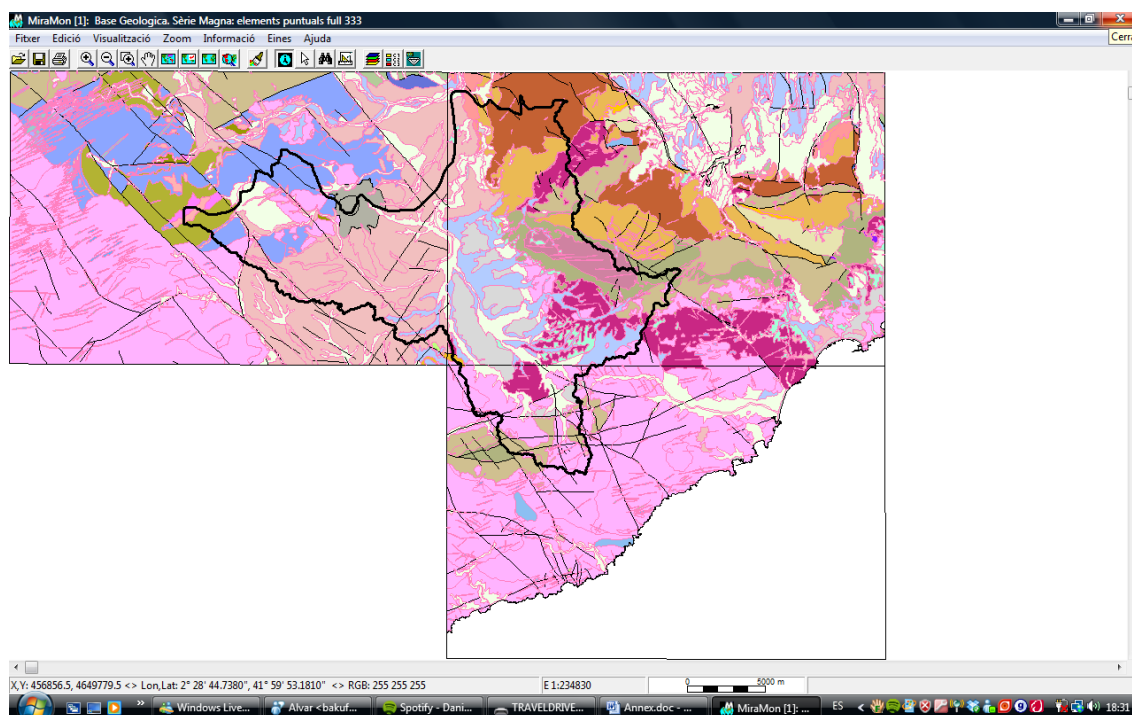


Fig. 2 .Finestra de MiraMón amb els fitxers (ARC) i (POL) dels mapes geològics i el fitxer Coca.POL.

Els límits de la conca no coincideixen amb els dels mapes fet que ens planteja un problema. La solució que hem escollit és introduir manualment els arcs que delimiten les litologies dins la superfície de la conca, al fitxer Conca.POL.

Primer, cal copiar els arcs dels mapes de litologies que entren dins dels límits de la conca.

➤ *Edició / Digitalitzar/Editar vector / Ctrl + C (copiar objectes)*

Un cop hem copiat tots els arcs necessaris, guardem. Aquest fitxer conté la conca aïllada i els límits entre les diferents litologies que componen el seu substrat (Fig.3). Pot passar que quedi algun arc sense copiar, per això es important revisar la cartografia per detectar possibles errors, i repetir el procés si fos necessari.

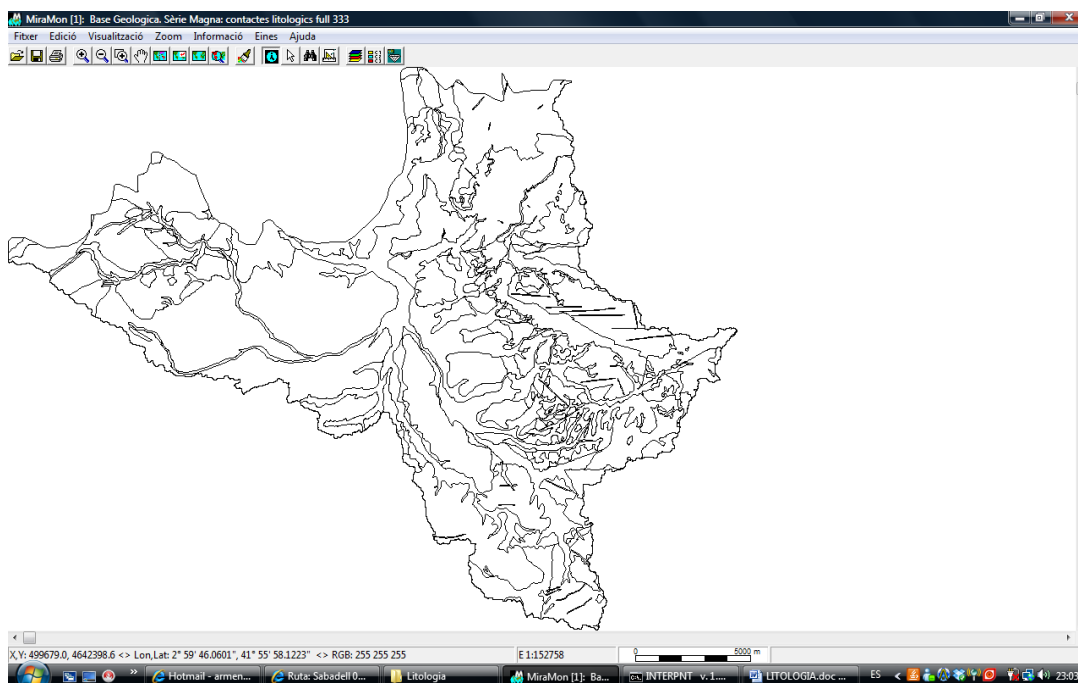


Fig. 3 Mapa de la conca amb la divisió litològica.

Seguidament es ciclen els arcs. L'objectiu principal del ciclat és construir tots els polígons topològics presents en el fitxer d'arcs.

➤ *Edició / Estructuració topològica*
○ *Polígons*
▪ *Ciclat total*

Amb aquesta operació obtenim un fitxer de polígons amb els límits de les litologies (Fig. 3).

Aquests polígons només contenen els atributs geomètrics (àrea, perímetre, etc) i l'identificador gràfic que, de forma única, fa referència a cada polígon. Els atributs de tipus temàtic els hem d'afegir (litologia predominant, en aquest cas). Ara l'objectiu es assignar un atribut a cada polígon.

Per això cal crear un fitxer d'etiquetes (etiquetes.PNT)

- *Edició / Digitalitzar/Editar vector...*
 - *Digitalitzar i editar en una altra capa (preexistent o nova)*
 - *Obrir vector de digitalització [V. Estruct. de punts (*.pnt)]*

L'assignació d'un atribut es realitza manualment sobre cada polígon. Cal digitalitzar un punt a l'interior de cada polígon i escriure la informació.

- *Edició / Digitalitzar/Editar vector...*
 - *Digitalitzar i editar en una altra capa (preexistent o nova):*
 - *Tornar a digitalitzar i/o editar atributs a la taula:*
 - *etiquetes.PNT*
 - *Modificar l'estructura de la taula*

**Es tracta d'un camp tipus CARÀCTER i de mida 20.*

La informació sobre la litologia sol ser complexa als mapes geològics. Per tal de simplificar el nostre mapa, només introduïm la informació sobre la litologia/litologies predominant. El resultat és un fitxer de punts amb atributs d'un sòl registre: la litologia predominant (Fig. 4).

Finalment es transfereix la informació dels les etiquetes (PNT) als polígons.

- *Edició / Estructuració topològica*
 - *Etiquetatge de polígons o bé Etiquetatge d'objectes gràfics*

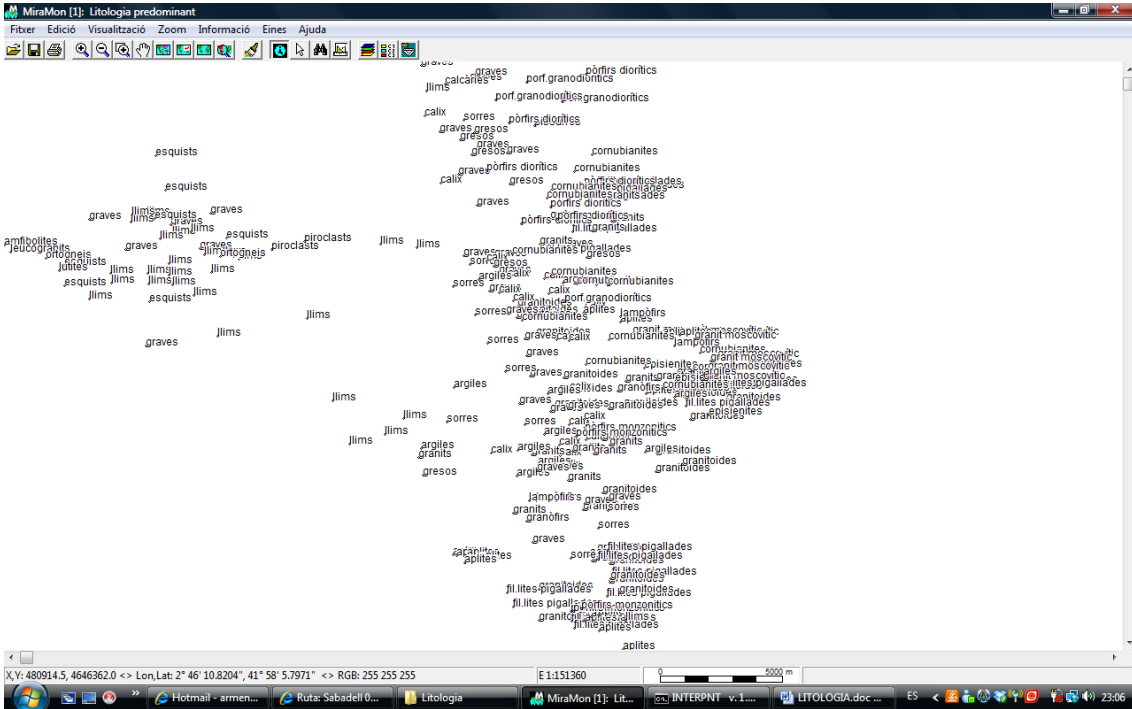


Fig. 4 Fitxer (PNT) d'etiquetes.

El resultat és un fitxer de polígons amb els atributs de les etiquetes. Aquest fitxer pot contenir micropolígons¹ que poden ser un obstacle pel correcte desenvolupament de les posteriors operacions amb el mapa. Una aplicació permet eliminar-los.

- Edició/Eliminació de micropolígons
 - Criteris d'eliminació:
 - Polígons sense etiqueta i Relació àrea/perímetre

*La relació àrea/perímetre la calculem obrint la taula de punts des d'un Excel

En un primer moment hem obert l'arxiu amb una paleta per atributs temàtics (C.temàtic.dbf).

- **Llegenda**
 - Visualització
 - Taula o paleta de visualització: C.temàtic.dbf

Per tal d'unificar criteris, hem assignat a cada litologia el mateix color que els mapes originals, mirant la seva composició RGB.(Flq.6)

¹ Micropolígon: En general, un micropolígon és un objecte petit, de vegades allargassat, i sovint sense etiqueta temàtica. És per això que presenta una àrea petita, una relació àrea/perímetre petita (perímetre gran i àrea petita) i que no ha estat etiquetat (MiraMon, 2008)

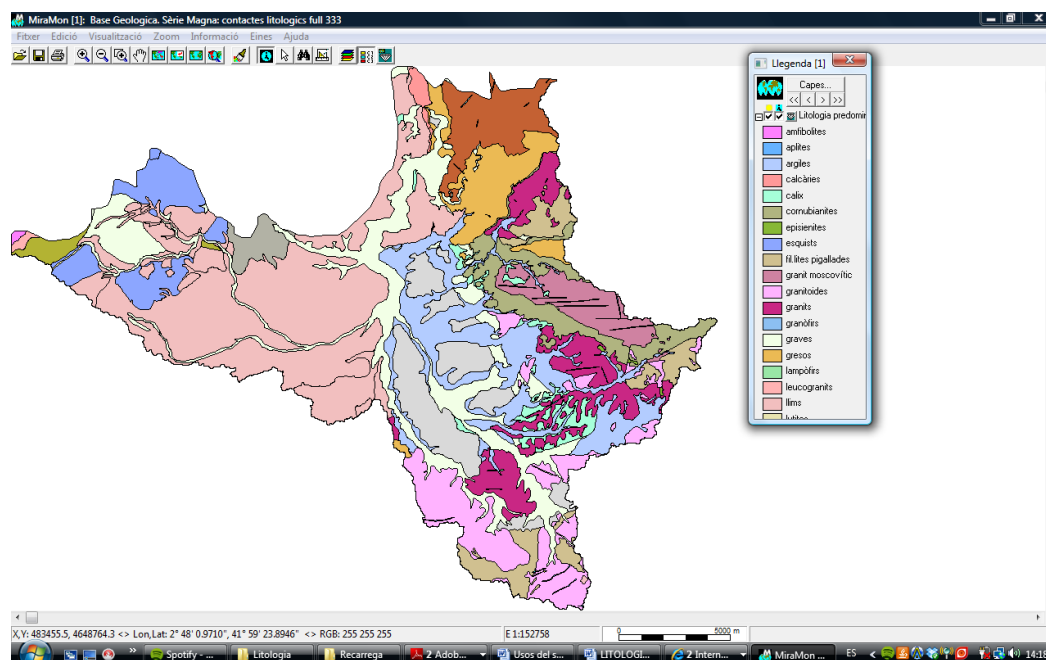
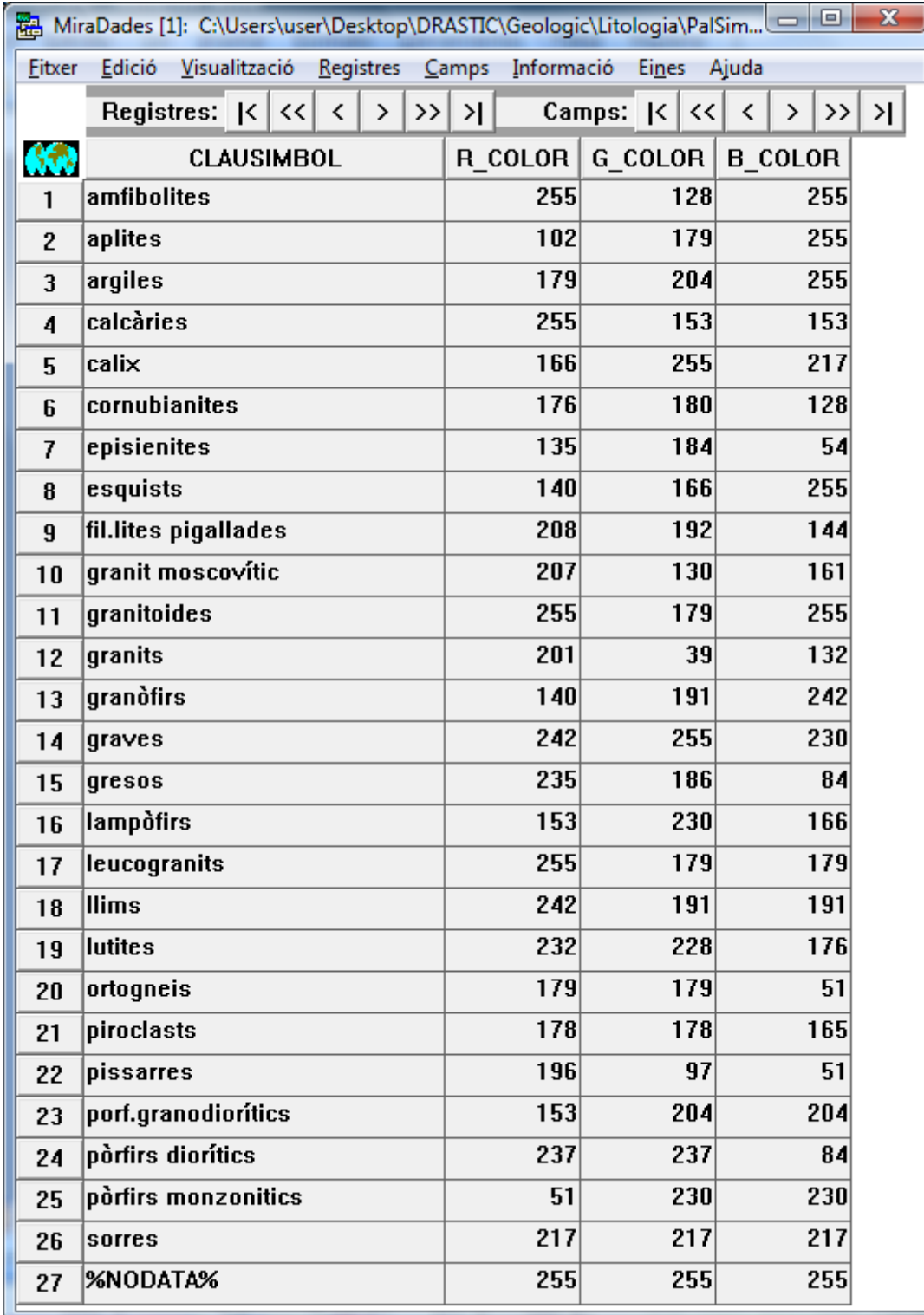


Fig.5 Mapa de litologies i colors associats, a partir d'una paleta RGB (veure figura 6)



The screenshot shows a software window titled "MiraDades [1]: C:\Users\user\Desktop\DRASTIC\Geologic\Litologia\PalSim...". The window has a menu bar with options: Fitxer, Edició, Visualització, Registres, Camps, Informació, Eines, and Ajuda. Below the menu bar is a toolbar with navigation buttons for "Registres" and "Camps". The main area displays a table with 5 columns: a small icon column, "CLAUSIMBOL", "R_COLOR", "G_COLOR", and "B_COLOR". The table lists 27 geological units, each with a corresponding RGB color code. The last row is labeled "%NODATA%" and has all three color values set to 255.

	CLAUSIMBOL	R_COLOR	G_COLOR	B_COLOR
1	amfibolites	255	128	255
2	aplites	102	179	255
3	argiles	179	204	255
4	calcàries	255	153	153
5	calix	166	255	217
6	cornubianites	176	180	128
7	episienites	135	184	54
8	esquists	140	166	255
9	fil.lites pigallades	208	192	144
10	granit moscovític	207	130	161
11	granitoides	255	179	255
12	granits	201	39	132
13	granòfirs	140	191	242
14	graves	242	255	230
15	gresos	235	186	84
16	lampòfirs	153	230	166
17	leucogranits	255	179	179
18	llims	242	191	191
19	lutites	232	228	176
20	ortogneis	179	179	51
21	piroclasts	178	178	165
22	pissarres	196	97	51
23	porf.granodiorítics	153	204	204
24	pòrfirs diorítics	237	237	84
25	pòrfirs monzonitics	51	230	230
26	sorres	217	217	217
27	%NODATA%	255	255	255

Fig. 6 Taula (*.dbf) amb la paleta RGB associada a cada litologia.

Mapa dels materials que formen l'aquífer (info. Temàtica)

L'objectiu és la realització d'un mapa digital que contingui informació sobre el tipus de material que forma aquífer. Com a base de treball, partim d'una còpia del mapa de litologies. Cal modificar el fitxer d'arcs per tal d'adequar-lo a les litologies que formen aquífers. Abans de començar de modificar qualsevol estructura del fitxer d'arcs, cal desvincular-lo del fitxer .pol. El fitxer d'arcs, utilitzat com a base ja va ser ciclat durant l'elaboració del mapa anterior, i té un vincle amb el fitxer de polígons que cal eliminar.

Des del GeMM²  eliminem el vincle (Fig. 7).

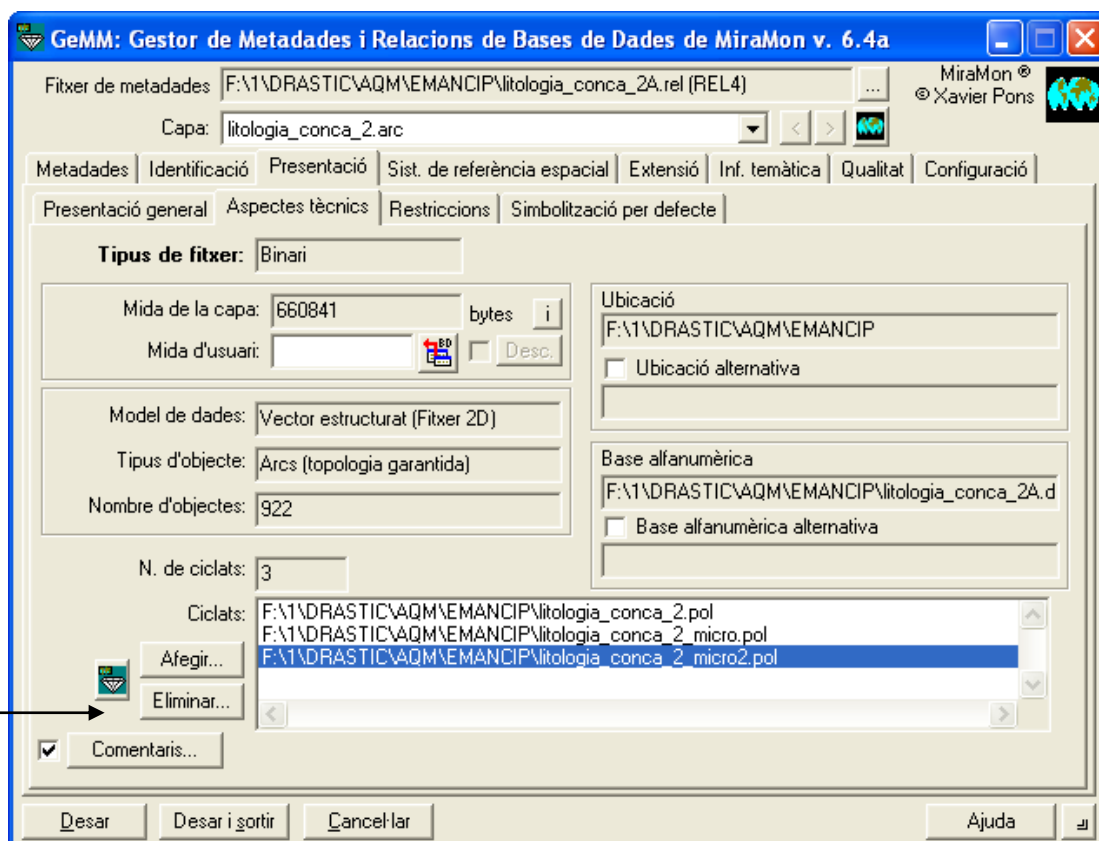


Fig.7 Gestor de Metadades de MiraMón.

² GeMM: Gestor de Metadades i Relacions de Bases de Dades de Miramon.

Seguidament hem eliminat els arcs que delimiten diferents litologies que no formen part dels aquífers i les seves etiquetes. (Fig. 8 i 9). En aquest cas eliminem les calitxes i altres formacions més superficials.

- Edició I Digitalitzar/Editar vector...
 - Eliminar vector

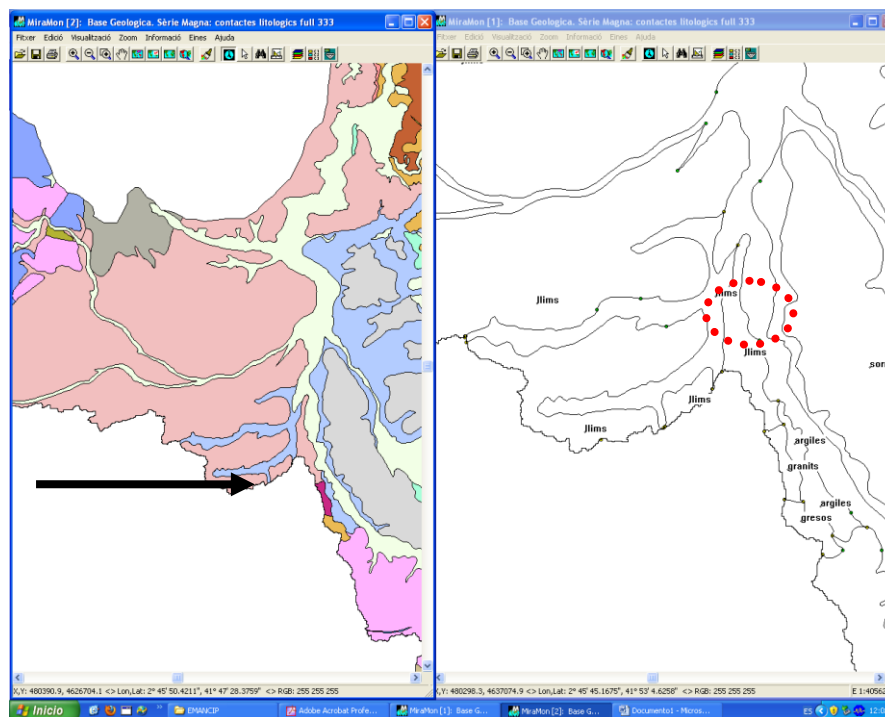


Fig. 8 Modificació del fitxer d'etiquetes: canvi d'argiles per llocs.

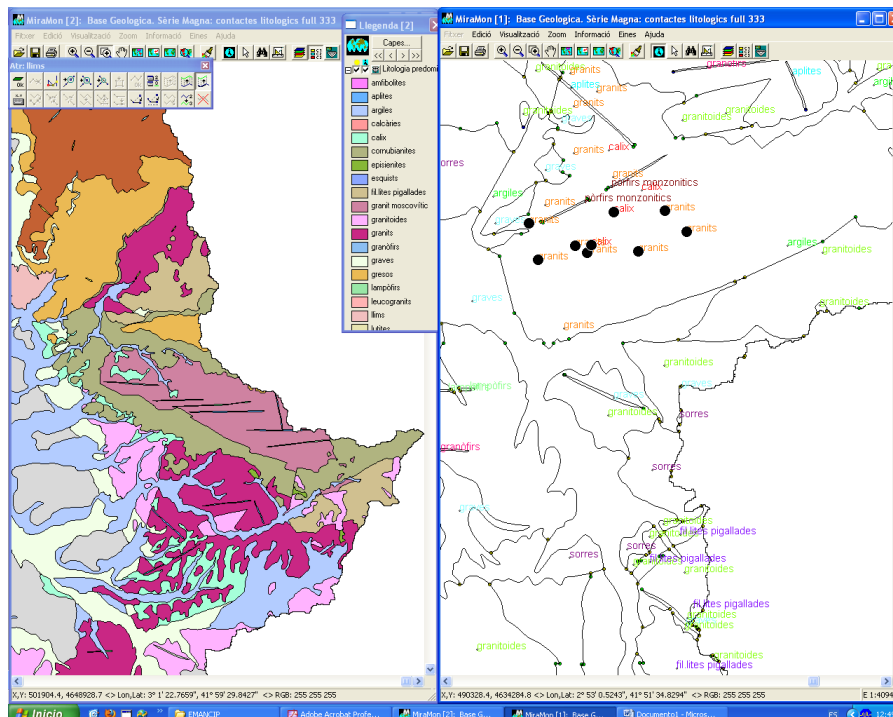


Fig. 9 Etiquetes sobrants després de la modificació dels arcs.

Un cop enllestides les modificacions es procedeix al ciclatge de les noves estructures .arc.

- *Edició / Estructuració topològica*
 - *Polígons*
 - *Ciclat total*

El resultat doncs, és una lleu modificació del mapa de litologies. (Fig. 10)

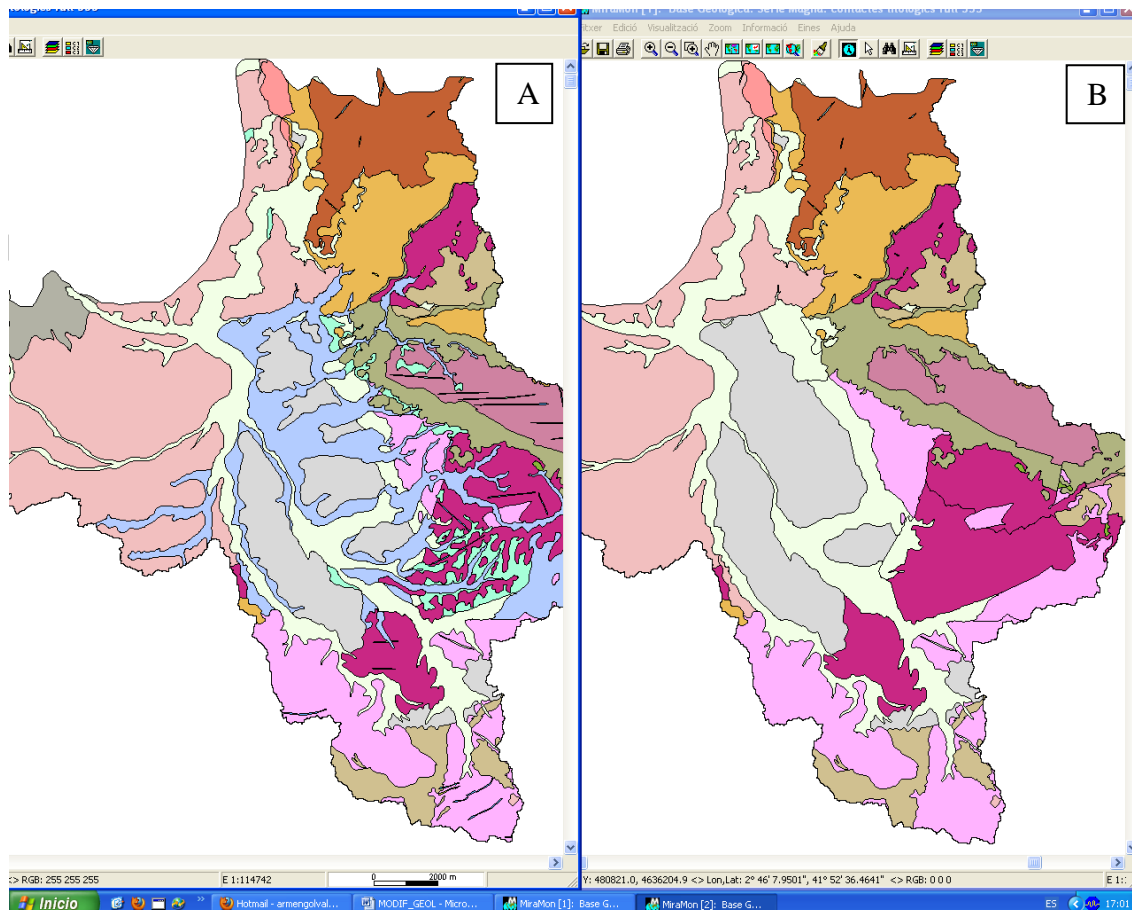


Fig. 10 A l'esquerra el mapa litològic. A la dreta el mapa de materials que conformen l'aquífer.

Fins aquest moment s'ha treballat amb una estructura vectorial. En aquest últim apartat passarem d'estructura vectorial a estructura ràster (Fig. 11).

Els ràsters estan estructurats en cel·les. Aquesta ordenació permet superposar-los, de manera que es poden relacionar i/o combinar diferents ràsters. Miramon també permet fer aquests càlculs directament amb una estructura vectorial.

- *Eines / Conversió ràster-vector*
 - *Rasteritzaió de punts, línies i polígons*

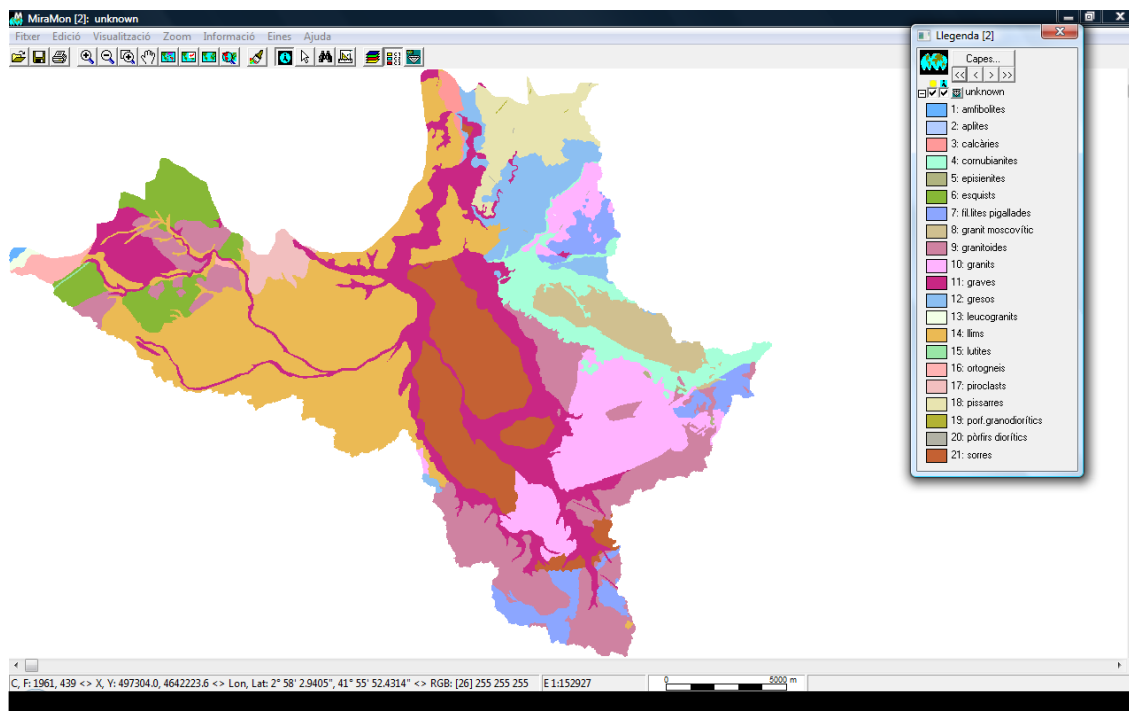


Fig. 11 Mapa resultant de la rasterització. En aquest cas obert amb la paleta de litologies.

Pel cas de fitxers de polígons hi ha dos criteris bàsics de rasterització: el d'àrea i el de punt central; i un de combinat. En el nostre cas hem utilitzat el de punt central.

Perquè el mapa tingui la classificació DRASTIC cal que reclassifiquem els valors. Ens ajudem de l'identificador gràfic intern de cada tipus de material per a fer la reclassificació. Aquesta funció canviarà valors antics de la capa per nous valors segons el fitxer reclassificador (*.MRC). Aquest fitxer està compost per línies de nombres on s'especifiquen els canvis en els numèrics de cada categoria.(Fig. 12)

- *Eines / Calculadora/Reclassificadora de ràsters i vectors...*
 - *Reclassifica...*

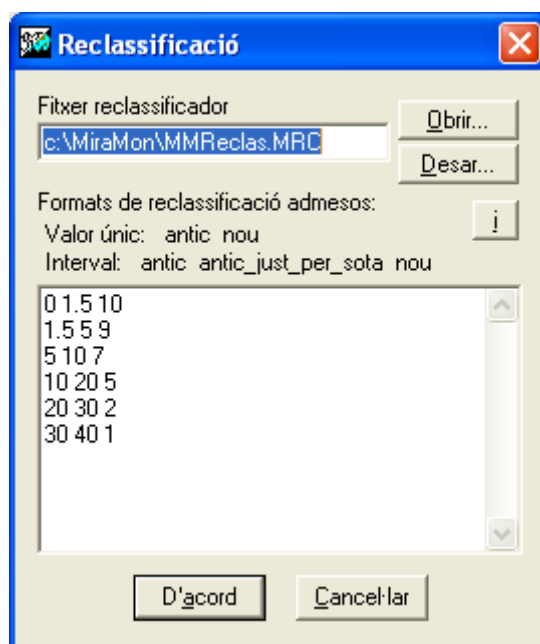


Fig. 12 Finestra del fitxer reclassificador

Un cop acabada la reclassificació hem obert el ràster resultant amb una paleta de tipus temàtic i l'hem modificat assignant una degradació de blau. (Fig. 13)

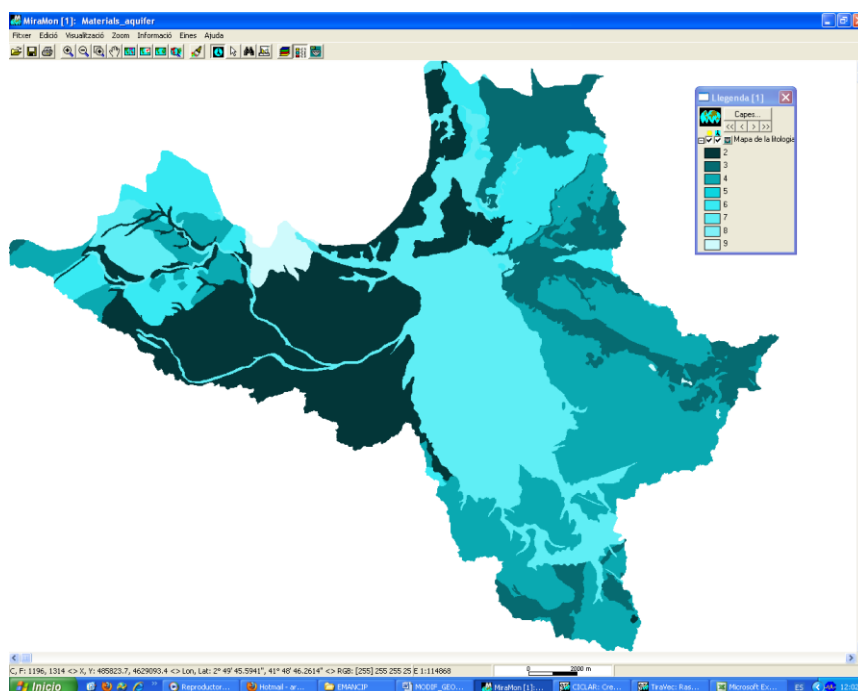


Fig. 13 Fitxer AQM amb paleta definitiva

Mapa de textures (info. Temàtica)

Per fer el mapa de textures del sòl es parteix d'una sèrie de punts provinents de la *Tesi d'en Francesc Xavier Ros (Model hidrològic del riu Onyar)*. Aquests punts tenen informació espacial (coordenades) i informació sobre l'atribut, en aquest cas, la textura.

Es crea un fitxer Excel de com a mínim tres columnes (coord X, coord Y i textura). Es guarda aquest fitxer com a fitxer dBASE IV i seguidament es converteix en un fitxer de punts.

- *Eines / Manteniment de fitxers*
 - *Obtenir punts des de taula DBF.*

El resultat és un fitxer amb 38 punts.(Fig. 14). Degut a la poca quantitat de punts es decideix no fer una interpolació, sinó assignar a cada tipus de litologia una textura.

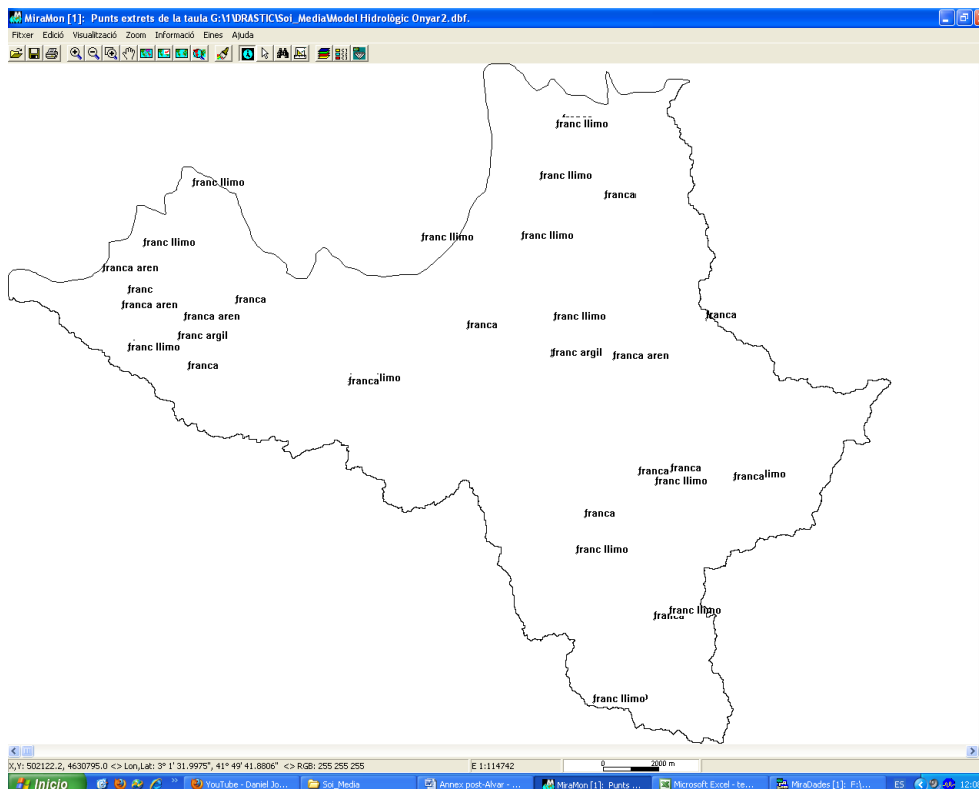



Fig. 14 Fitxer de punts amb informació sobre la textura

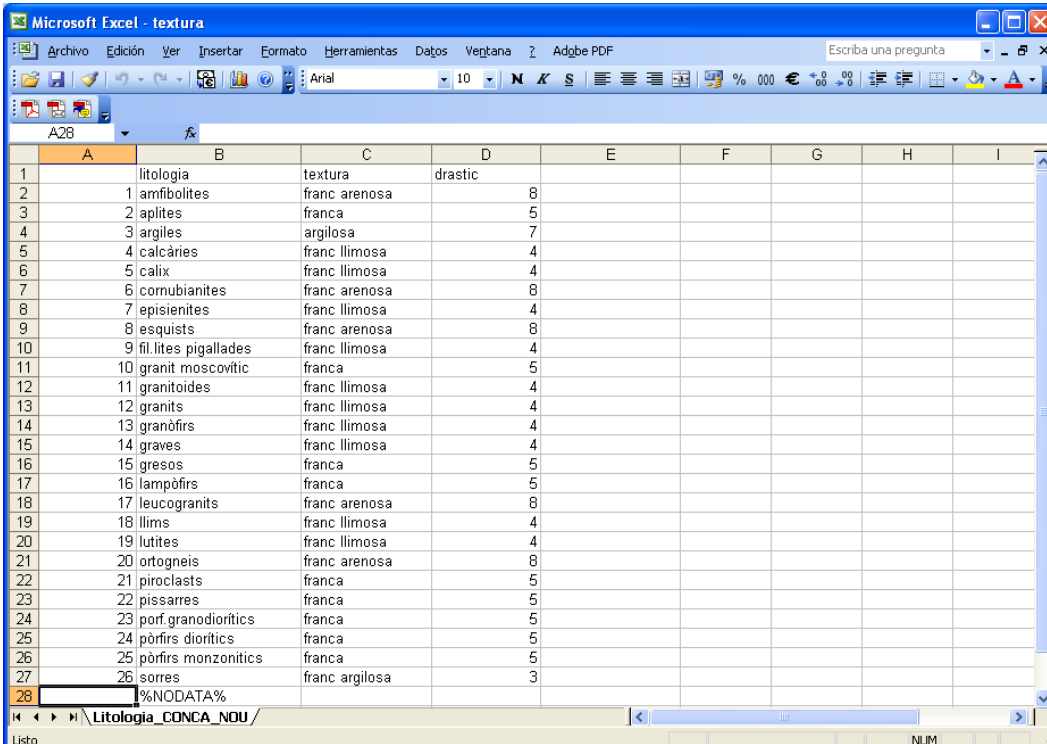
Com alternativa a la reclassificació també podem treballar a partir del fitxer de polígons.

Per introduir la informació de la textura dins els polígons el que fem es associar una taula amb la informació de la textura al mapa. Aquesta taula conté un camp amb la litologia predominant, un camp amb la textura i per últim un camp amb la classificació DRASTIC. (Fig. 15). Si partim d'un fitxer Excel el guardem com a fitxer dBASE IV.

Per fer l'associació cal que hi hagi un camp en comú, d'igual característiques i extensió. En aquest cas es tracta del camp: litologia predominant.

- *Gestor de Metadades / Relacions de Bases de Dades MiraMón* 
 - *Informació temàtica*
 - *Botó dret sobre el camp: litologia predominant*
 - *Nou enllaç / DBF*

Finalitzat l'enllaç guardem les modificacions i obrim el ràster amb una paleta automàtica que només mostri els valors existents (Fig. 16) i la modifiquem.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		litologia	textura	drastic					
2	1	amfibolites	franc arenosa	8					
3	2	aplites	franca	5					
4	3	argiles	argilosa	7					
5	4	calcàries	franc llimosa	4					
6	5	calix	franc llimosa	4					
7	6	cornubianites	franc arenosa	8					
8	7	episienites	franc llimosa	4					
9	8	esquists	franc arenosa	8					
10	9	fil.lites pigallades	franc llimosa	4					
11	10	granit moscovitic	franca	5					
12	11	granitoides	franc llimosa	4					
13	12	granits	franc llimosa	4					
14	13	granòfirs	franc llimosa	4					
15	14	graves	franc llimosa	4					
16	15	gresos	franca	5					
17	16	lampòfirs	franca	5					
18	17	leucogranits	franc arenosa	8					
19	18	llims	franc llimosa	4					
20	19	lutites	franc llimosa	4					
21	20	ortogneis	franc arenosa	8					
22	21	piroclasts	franca	5					
23	22	pissarres	franca	5					
24	23	porf.granodioritics	franca	5					
25	24	pòrfirs dioritics	franca	5					
26	25	pòrfirs monzonitics	franca	5					
27	26	sorres	franc argilosa	3					
28		%NODATA%							

Fig. 15 Fitxer Excel amb informació sobre l'assignació de textures.

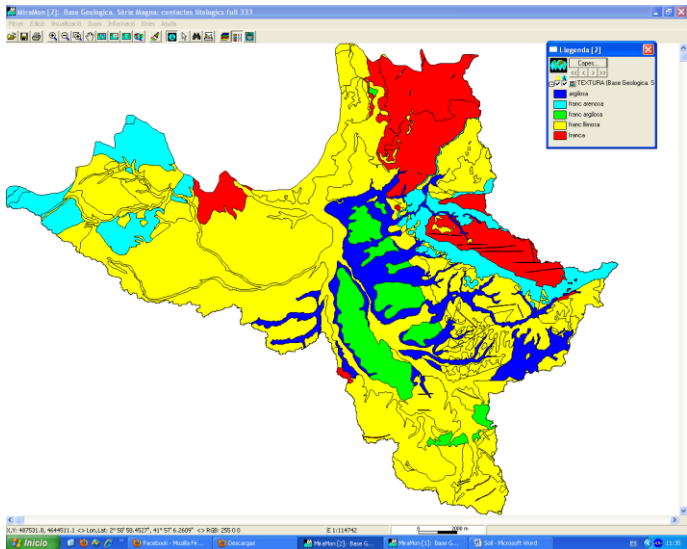


Fig. 16 Visualització dels valors existents amb una paleta temàtica

Com a resultat tenim un mapa amb informació sobre la litologia, la textura i la classificació DRASTIC. (Fig. 17)

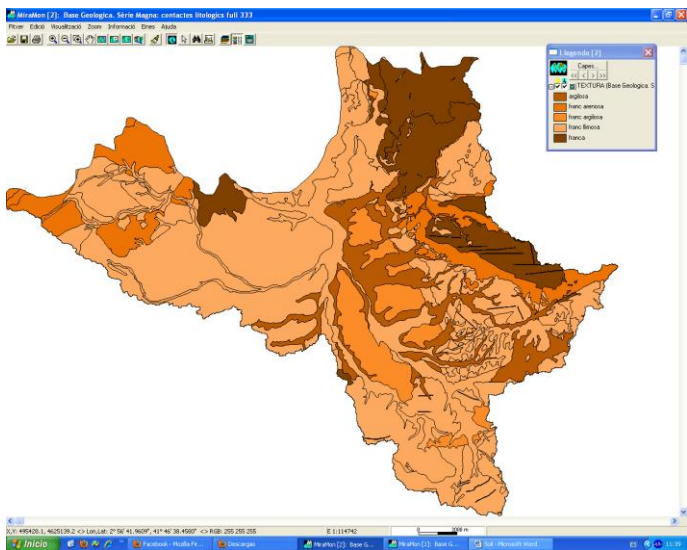


Fig.17 Visualització dels valors existents amb una paleta modificada

Mapa de pendants

Per a la realització d'aquest mapa hem utilitzat un Model Digital d'Elevacions (MDE) de la conca del Ter.(Fig. 18)

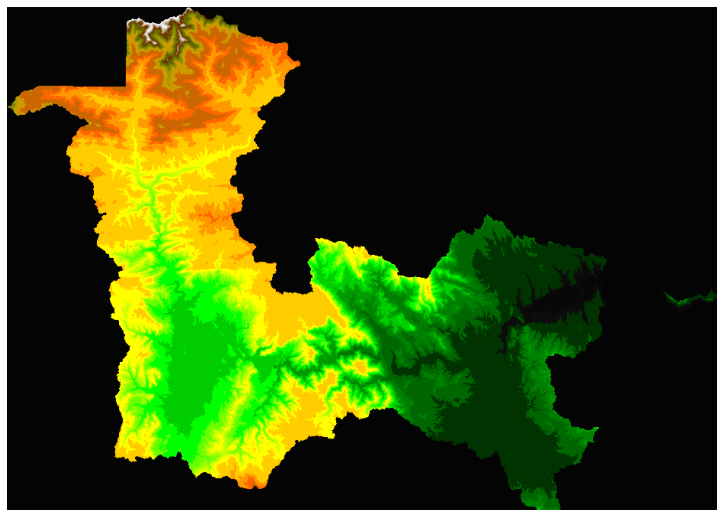


Fig. 18 Visualització del MDE del Ter.

Per a poder treballar amb la informació que conté el mapa és necessari un format tipus ràster o vectorial (Fig. 19). Guardem el fitxer com a ràster mitjançant:

➤ *Fitxer / Desar ràster/WMS com a ràster...*

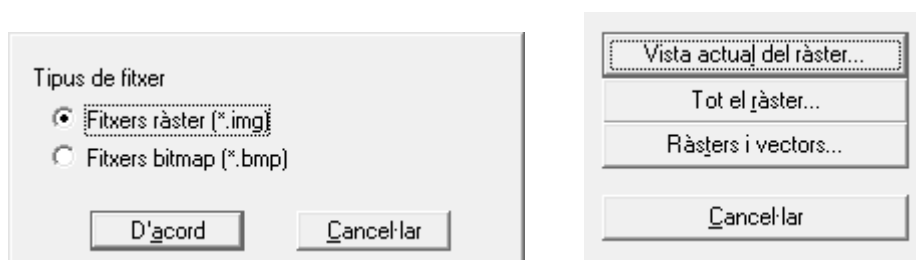


Fig. 19 Finestres de l'aplicació *Desar com a ràster*

Per obtenir el mapa de pendents haurem de calcular-lo i després retallar la conca. Seguirem aquest ordre perquè el mapa també utilitzi els punts que queden fora l'àmbit d'estudi per fer el càlcul del pendent, reduint així l'error del píxels que quedem al límit la conca.

Per calcular el pendent ho fem a partir de l'aplicació d'Anàlisi del Terreny de Miramón (Fig. 20).

➤ *Eines / Interpolació i anàlisi del terreny*
○ *Càlcul de pendents, orientacions, etc.*

L'anàlisi s'efectua a partir de:

Pendent (%): cada cel·la resultant conté el pendent màxim en funció de les cotes de les cel·les veïnes.

N veïns (8) :s'utilitzen vuit orientacions per a realitzar el càlcul:: nord, nord-est, est, sud-est, sud, sud-oest, oest i nord-oest.

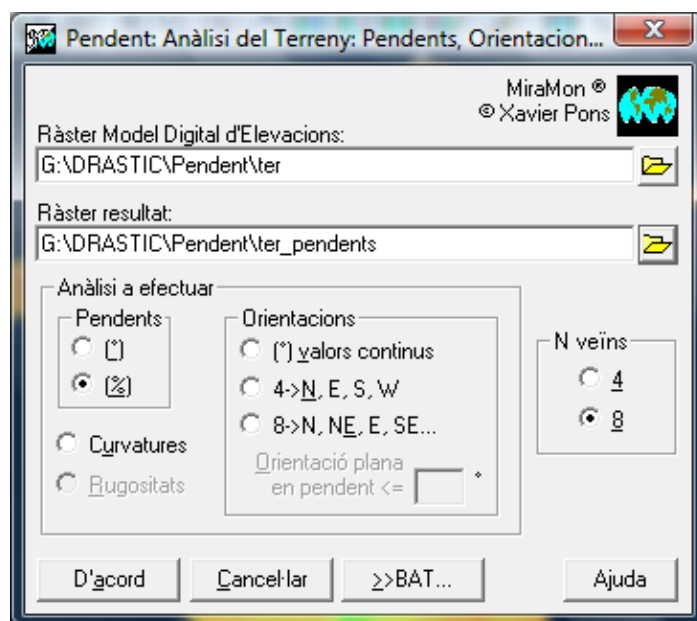


Fig. 20 Finestra d'Anàlisi del Terreny de MiraMón.

Per fer el retall de la conca s'utilitza el mateix fitxer de sempre, Conca.POL i s'aplica el retall a tots els registres (Fig. 21)

- *Eines / Organització espacial*
 - *Retall de capes*

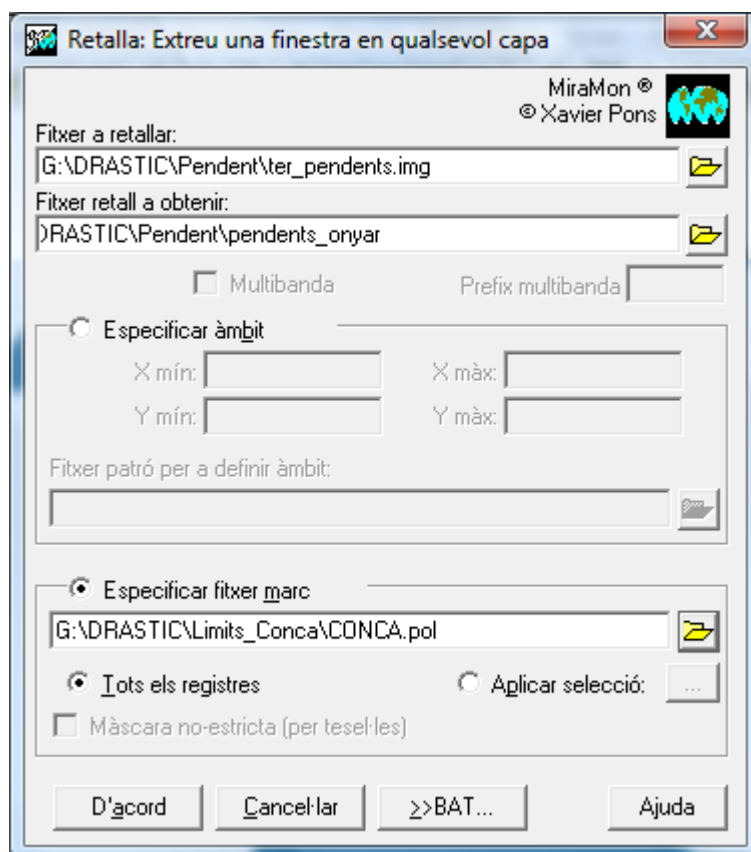


Fig. 21 Finestra de retalls de MiraMón

El resultat final dona valors de pendent superiors a 90°. Aquests valors superiors a 90° són errors generats pel programa durant el càlcul de pendents. S'ha utilitzat la reclassificació per eliminar els pendents indesitjats. En primer lloc es localitzen els pendents per comparar-los amb un mapa topogràfic de la zona. (Fig. 22)

- *Informació / Consulta per atributs*
 - *Valors superiors a (màx. real)*

En segon lloc es dona un valor més adient a aquelles cel·les afectades. Per agilitzar el treball, en comptes de recllassificar només aquests valors, el que es fa és recllassificar tot el ràster atribuïnt directament valors DRASTIC, segons el rang de pendents. (Fig. 23)

- *Eines / Calculadora/Recllassificadora de ràsters i vectors...*
 - *Recllassifica...*

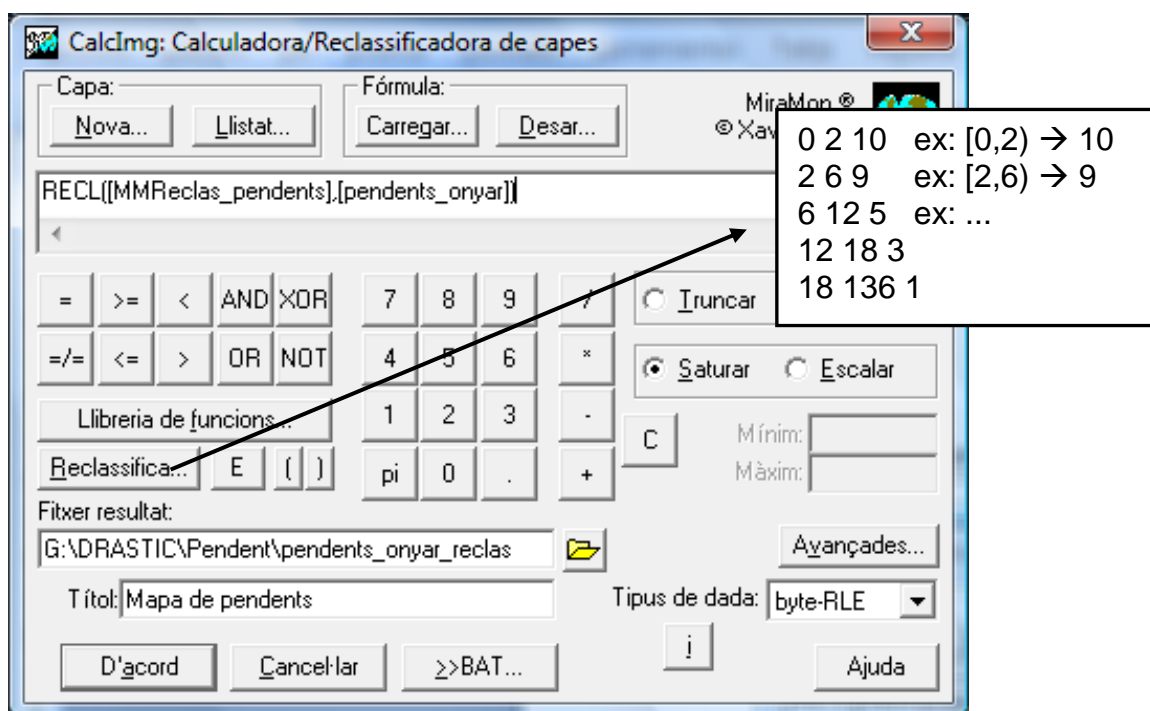


Fig. 22 Finestra de l'aplicació de reclassificació del MiraMón.

Finalment s'obre el ràster reclassificat amb la paleta Ctematic.dbf (Fig.23) que proporciona MiraMón, es modifica i esguarda.

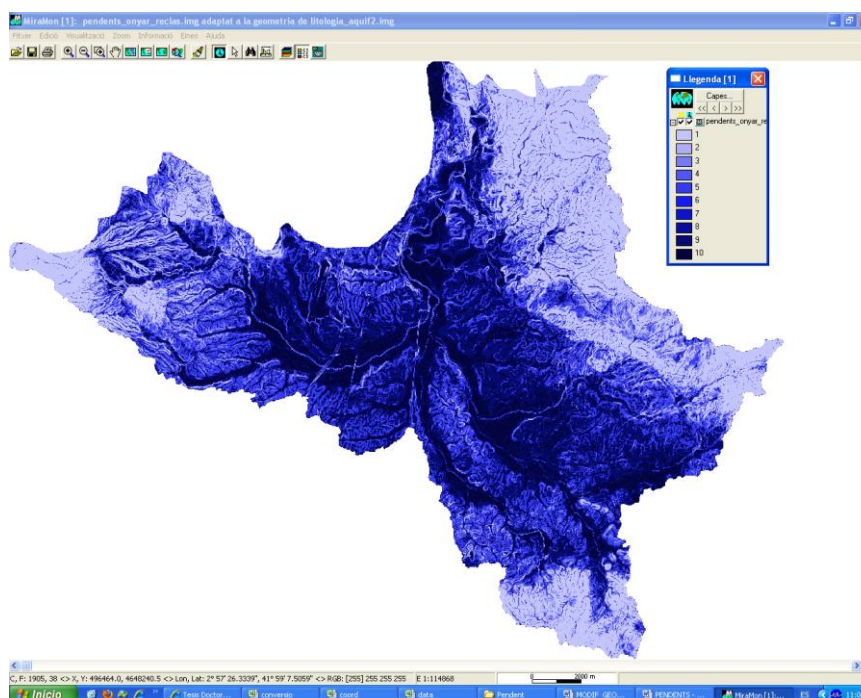


Fig. 23 Ràster amb la paleta modificada

Mapa de recàrrega neta

Seguint el mateix procediment que l'estudi de *Realització d'un model numèric del flux d'aigua associat a la Riera de Santa Coloma* (ACA, 2009), s'han utilitzat els valors de tipologies i d'usos del sòl per calcular la recàrrega de la conca. Una explicació més detallada es troba a l'apartat de resultats del mapa de recàrrega.

Primer hem fet el ràster de tipologies de sòl, després el d'usos del sòl i finalment hem combinat els dos ràsters per obtenir el de recàrrega.

Mapa de tipologies de sòl

Per realitzar aquest mapa hem seguit els criteris de *Realització d'un model numèric del flux d'aigua associat a la Riera de Santa Coloma* (ACA, 2009). Segons aquest, hem diferenciat 4 categories: materials del Quaternari i Neogen i materials d'origen Granític i Volcànic. Aquesta informació 'hem obtingut dels mapes inicials

El ràster amb el que s'ha treballat , és un còpia del ràster de litologies. Per tant, s'han reclassificat les litologies segons les quatre tipologies..

- *Eines / Calculadora/Reclassificadora de ràsters i vectors...*
 - *Reclassifica...*

* Compte amb l'assignació del tipus de dada. En el nostre cas cal que sigui de tipus byte-RLE

Finalment hem guardat el mapa i hem canviat la seva paleta seguint criteris geològics, com mostra la figura. (Fig. 24).

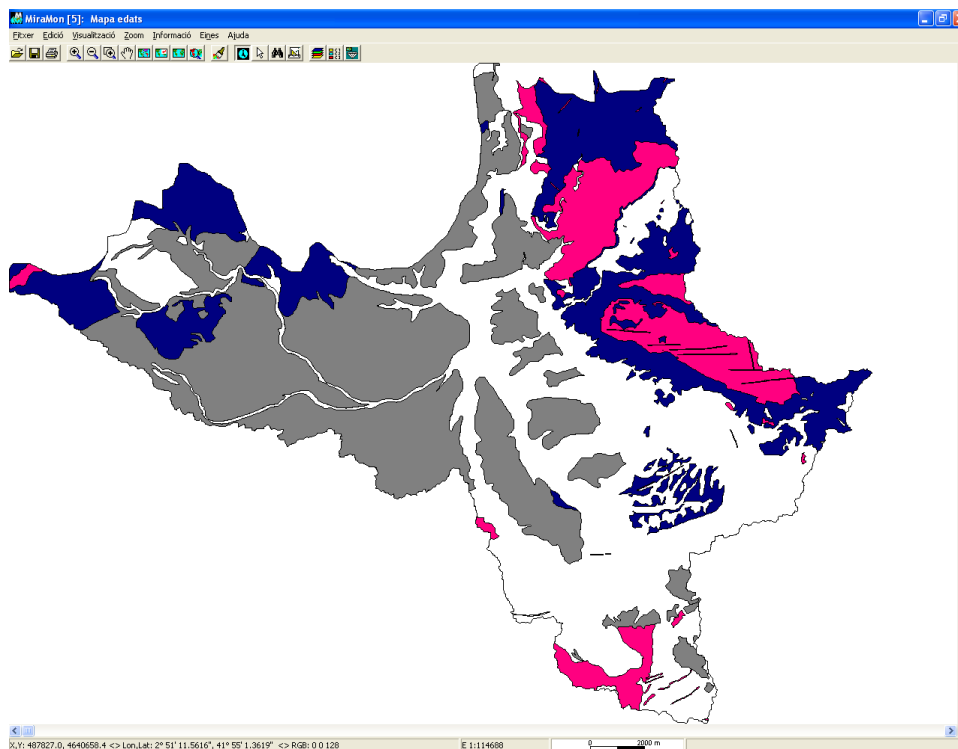



Fig. 24 Mapa resultant de la classificació del model de Sta. Coloma, 2009

Per assignar a cada valor una descripció de tipus categòric es realitza un nou enllaç a partir del GeMM.

- *Gestor de Metadades / Relacions de Bases de Dades MiraMón* 
 - *Informació temàtica*
 - *Botó dret sobre el camp: litologia predominant*
 - *Nou enllaç / Nou fitxer DBF*

Amb aquesta aplicació es crea una taula amb tants registres com valors entre el mínim i el màxim documentats. Es a dir, crea una taula amb tantes entrades com valors diferents tingui el ràster.

A continuació, s'edita la taula generada assignant una categoria a la descripció de la banda i finalment s'obté el ràster amb la llegenda pertinent

Mapa d'usos del sòl

L'arxiu inicial del qual es parteix és un Mapa d'usos del sòl de Catalunya de l'any 1997, descarregat del d'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) (Fig. 25)

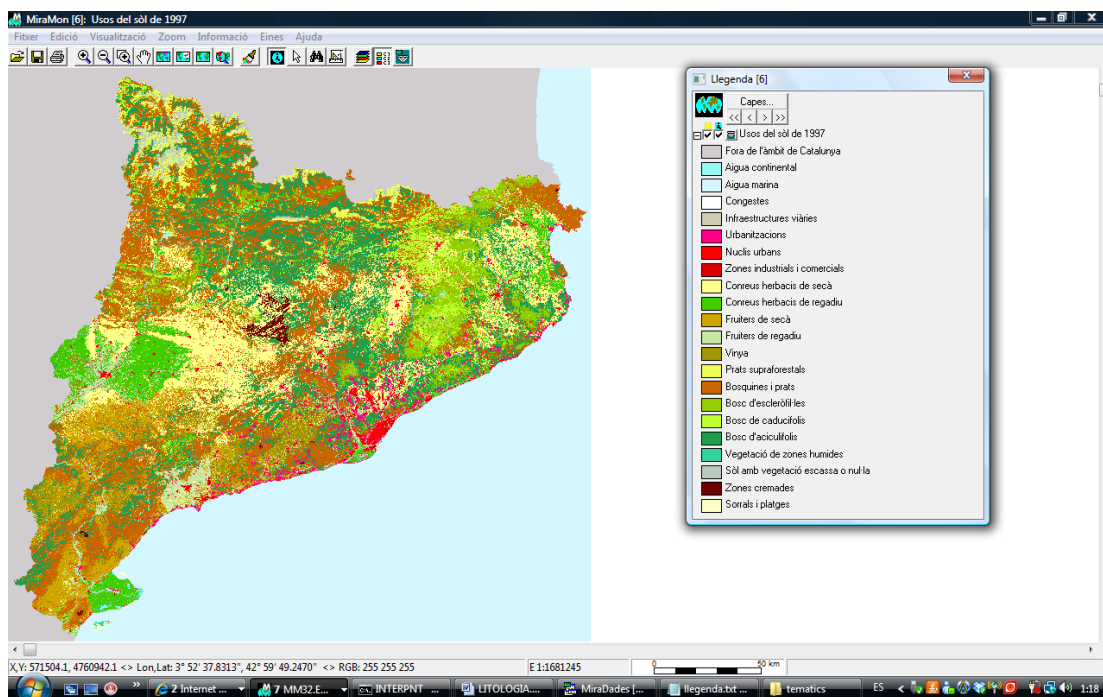


Fig. 25 Mapa d'usos de Catalunya de l'any 1997

L'arxiu original el trobem en format mmz., per tant, si volem treballar amb ell cal descomprimir-lo.

- *Fitxer / Mapes MiraMón d'Internet...*
 - *Descomprimir*
 - *Avançades / Arbre a partir de directori de descompressió*

A continuació retallem el mapa, igual que em fet en casos anteriors, utilitzant el fitxer marc Conca.pol.

Seguidament reclassifiquem les categories segons *Realització d'un model numèric del flux d'aigua associat a la Riera de Santa Coloma (ACA, 2009)*. Aquest fet significa passar de 20 categories a 9, eliminat categories com; urbanitzacions, nuclis rurals, la vinya...(Fig. 27).

La reclassificació s'ha fet seguint criteris de similituds en termes de consum d'aigua. (Fig. 26)

Es classifiquen com a NODATA les categories:

categoria 3 : Aigua marina

categoria 6 : Urbanitzacions

categoria 7 : Nuclis urbans

categoria 8 : Zones industrials i comercial

Canvi de classificació diferent a NODATA:

categoria 13 : Vinya = Fruïters de secà

categoria 19 : Vegetació de zones humides = Bosc esclerofil·les

categoria 2 : Aigua continental= Bosc esclerofil·les

Fig. 26 Categories que canvien

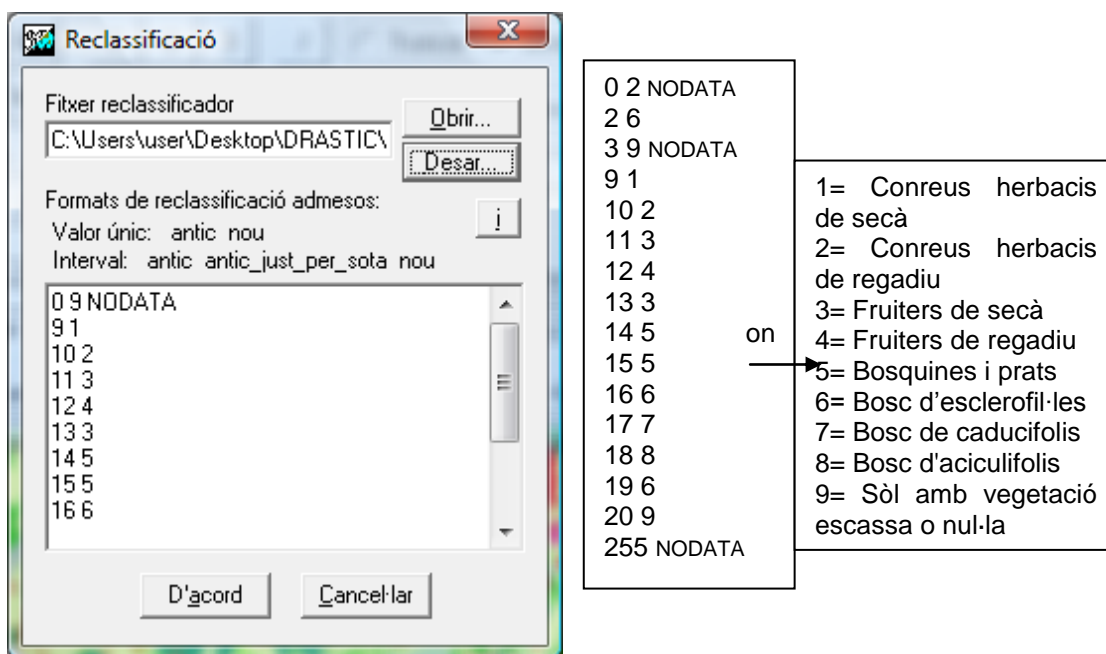


Fig. 27 Categories de la reclassificació

Un cop acabada la reclassificació, hem canviat els colors de la paleta, seguint la combinació RGB inicial. Obtenint un ràter amb 9 categories en compte de 20 (Fi. 28).

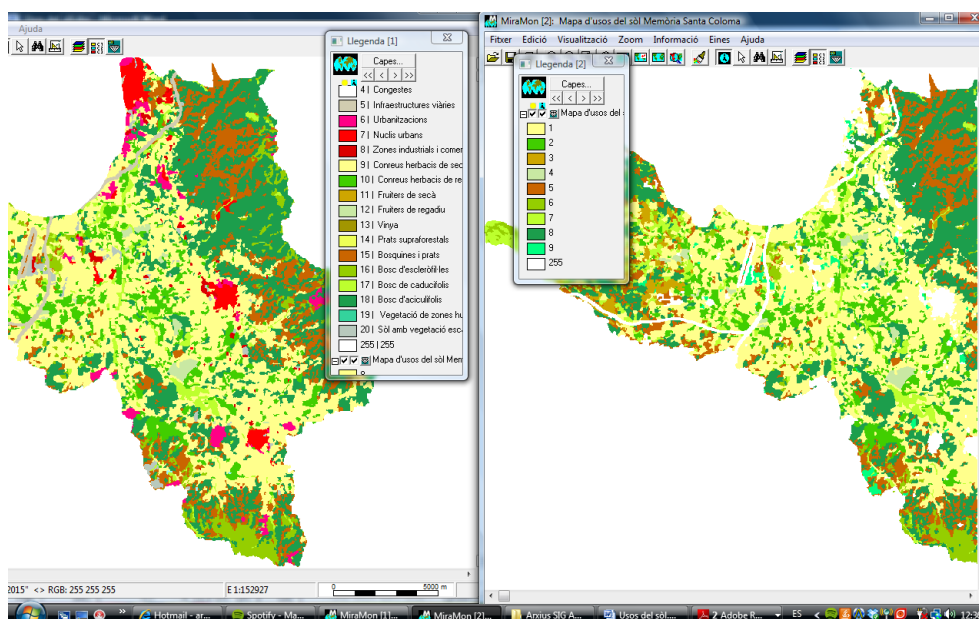


Fig. 28 A la dreta el ràster reclassificat i a l'esquerra el ràster inicial.

Per últim repetim l'acció anterior de crear una taula amb tants registres com valors entre el mínim i el màxim documentats.

- *Gestor de Metadades / Relacions de Bases de Dades MiraMón*
 - *Informació temàtica*
 - *Botó dret sobre el camp: litologia predominant*
 - *Nou enllaç / Nou fitxer DBF*

Obtenint així una llegenda on trobem descrites les categories.(Fig. 29)

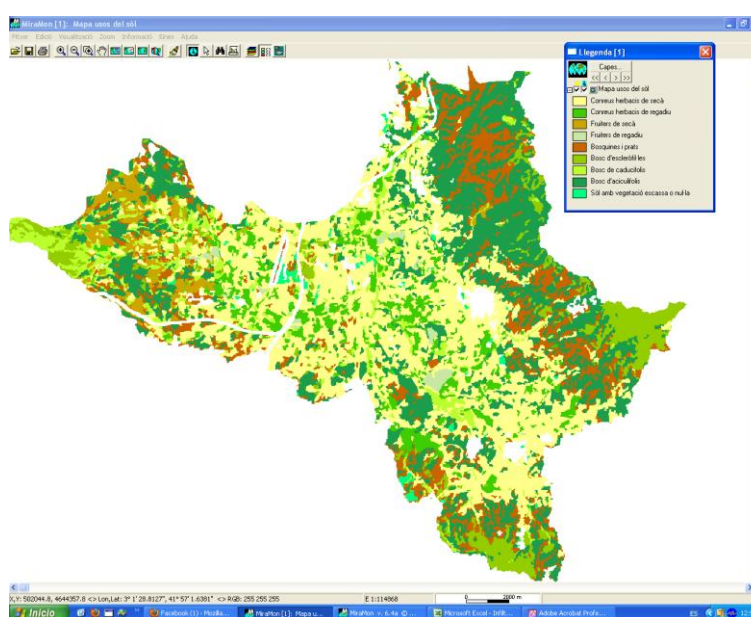


Fig. 29 Visualització final del ràster i la llegenda.

Mapa de tipologies de sòl + Mapa d'usos del sòl

El mapa de recàrrega és un mapa que resulta de la combinació de dos mapes. En el nostre cas es tracta de combinar dues imatges de tipus ràster, aquestes han de correspondre al mateix àmbit geogràfic, han de tenir la mateixa resolució i les mateixes unitats referides al mateix sistema de referència

➤ Eines / Combinació analítica de capes

El resultat és un mapa amb informació sobre els dos ràsters anteriors.(Fig. 30) Ara els hem de classificar segons *Realització d'un model numèric del flux d'aigua associat a la Riera de Santa Coloma (ACA, 2009)*. Aquesta dona un valor de recàrrega segons la tipologia de sòl i usos. Exemple: Conreus herbacis de secà del Quaternari = 1.117mm

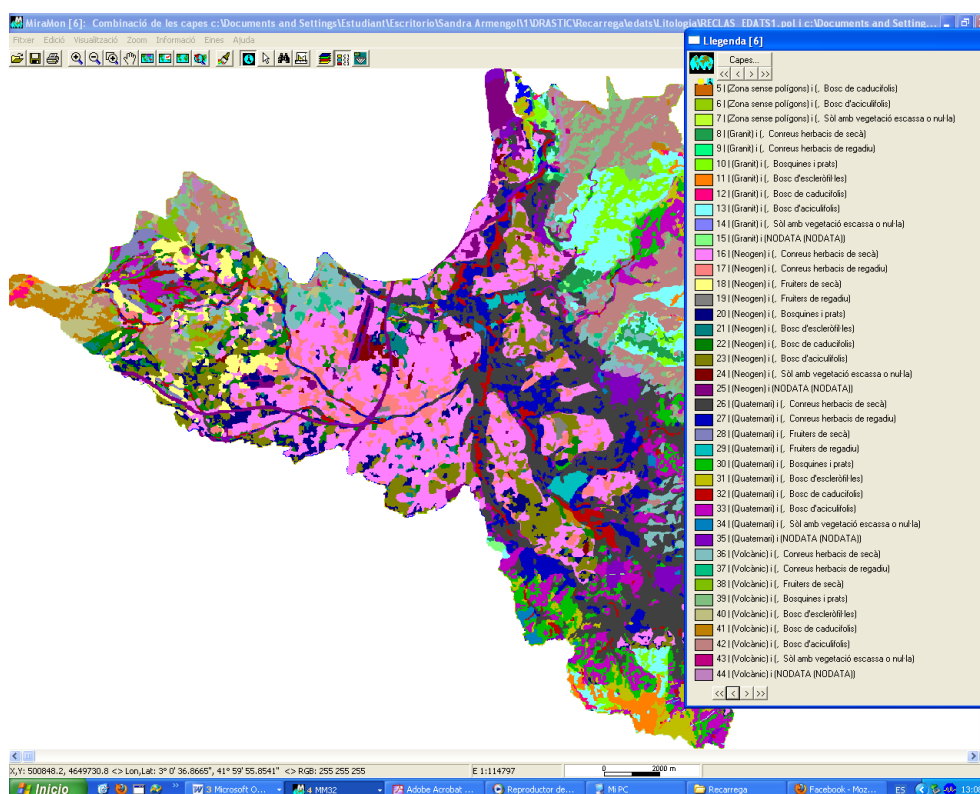


Fig. 30 Ràster resultant de la combinació analítica de capes

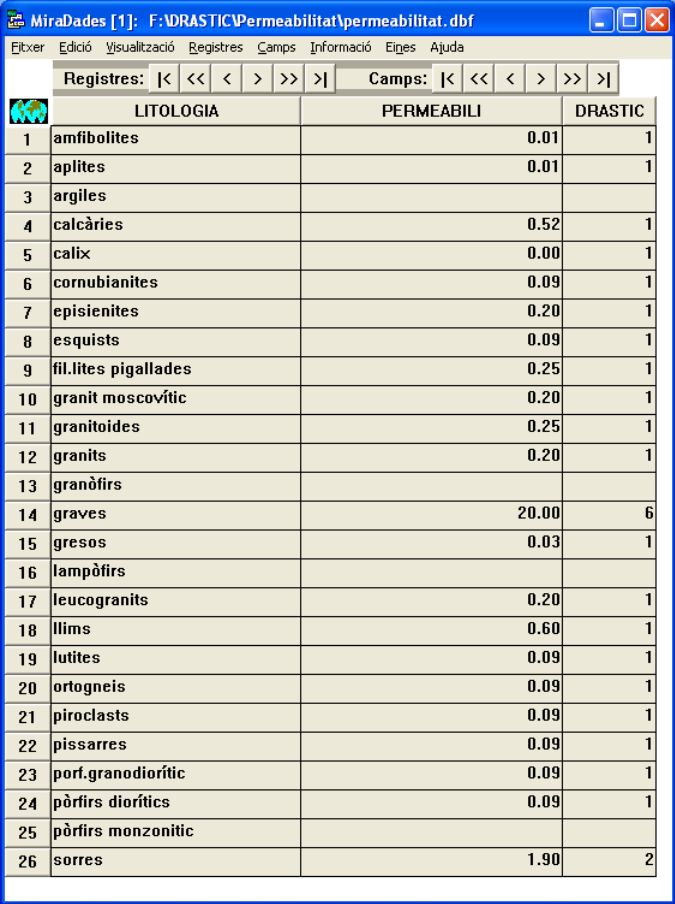
Després d'aquesta classificació hem assignat els valors DRASTIC corresponents seguint el mateix procés. Exemple: 1.117mm = 9 (classificació DRASTIC).

Mapa de permeabilitats de la zona saturada

Per realitzar aquest mapa s'han assignat les permeabilitats als diferents materials dels aquífers. (Fig. 31) mitjançant el procés de reclassificació.

- *Eines / Calculadora/Reclassificadora de ràsters i vectors...*
 - *Reclassifica...*

Els valors de permeabilitat utilitzats s'han extret de l'IGME i de la *Realització d'un model numèric del flux d'aigua associat a la Riera de Santa Coloma (ACA, 2009)*.



	LITOLOGIA	PERMEABILITAT	DRASTIC
1	amfibolites	0.01	1
2	aplites	0.01	1
3	argiles		
4	calcàries	0.52	1
5	calix	0.00	1
6	cornubianites	0.09	1
7	episienites	0.20	1
8	esquists	0.09	1
9	fil.lites pigallades	0.25	1
10	granit moscovític	0.20	1
11	granitoides	0.25	1
12	granits	0.20	1
13	granòfirs		
14	graves	20.00	6
15	gresos	0.03	1
16	lampòfirs		
17	leucogranits	0.20	1
18	llims	0.60	1
19	lutites	0.09	1
20	ortogneis	0.09	1
21	piroclasts	0.09	1
22	pissarres	0.09	1
23	porf.granodiorític	0.09	1
24	pòfirs diorítics	0.09	1
25	pòfirs monzonític		
26	sorres	1.90	2

Fig. 31 Permeabilitats associades al medi

Per últim hem modificat la paleta i el resultat és el de la figura. (Fig.32)

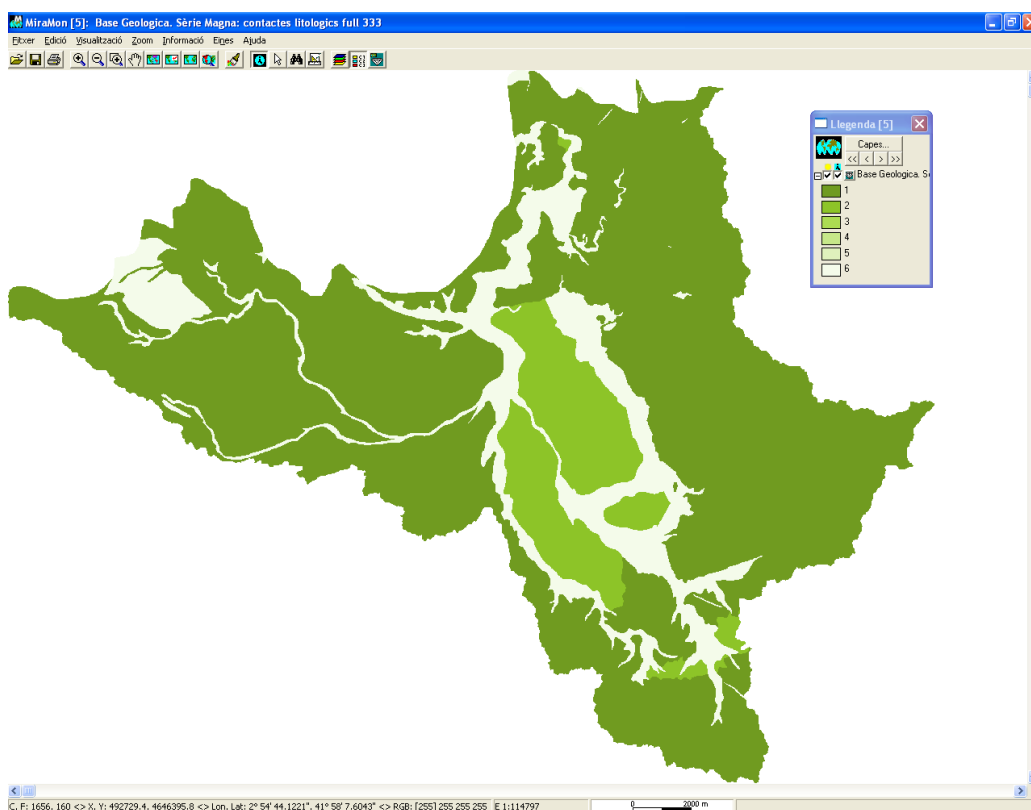


Fig. 32 Visualització del ràster de permeabilitats.

Mapa de profunditat fins el nivell freàtic

Aquest mapa dóna informació sobre la distància a la que es troba l'aigua partint de la superfície del sòl. Per elaborar el mapa s'han utilitzat dades del mes de desembre de la tesi doctoral *Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva*, per Anna Menció (2005).

Mitjançant la interpolació s'ha obtingut un mapa representatiu de la profunditat del nivell freàtic de gran part de la conca.

- *Eines / Interpolació i anàlisi del terreny...*
 - *Interpolació a partir de punts...(Opcions)*

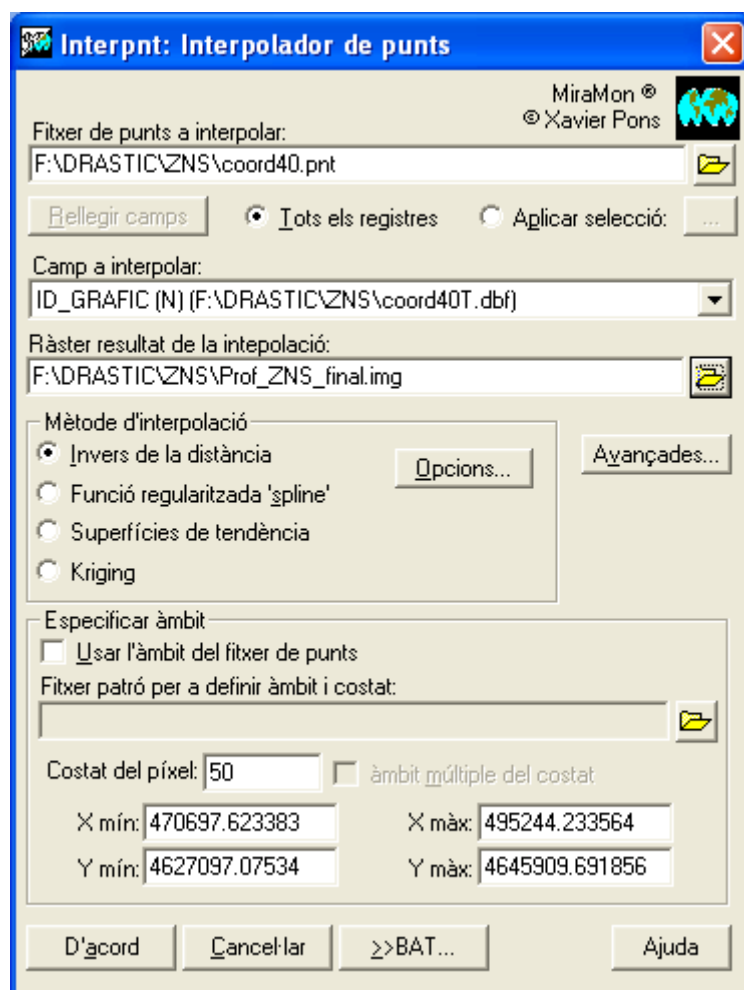


Fig. 33 Visualització del caixetí d'interpolació amb punts

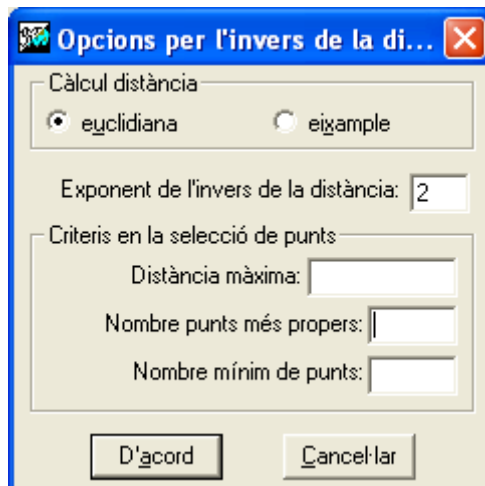


Fig. 33 Visualització del caixetí d'opcions

Una vegada interpolats els punts s'ha reclassificat el raster i modificat la paleta com en el casos anteriors

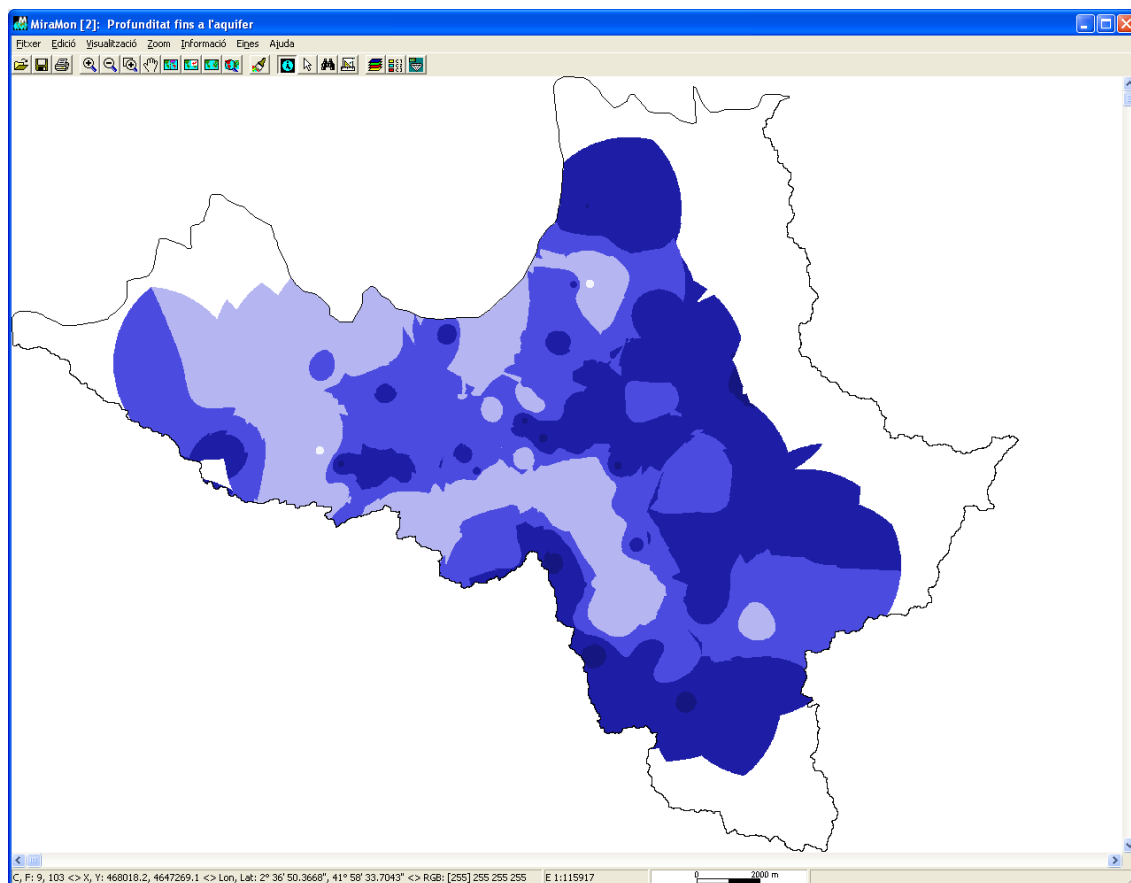


Fig. 34 Visualització del ràster de profunditats fins el freàtic.

